

Universidade Estadual Paulista

“Júlio de Mesquita Filho”

Emanuela da Conceição

ANÁLISE DO CONTEÚDO DE ELETROQUÍMICA DE UM DOS 10  
LIVROS DIDÁTICOS MAIS UTILIZADOS NO ENSINO SUPERIOR DO  
ESTADO DE SÃO PAULO

Araraquara

2022

EMANUELA DA CONCEIÇÃO

ANÁLISE DO CONTEÚDO DE ELETROQUÍMICA DE UM DOS 10  
LIVROS DIDÁTICOS MAIS UTILIZADOS NO ENSINO SUPERIOR  
DO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Instituto de Química, Universidade Estadual  
Paulista (UNESP), como parte das exigências  
para obtenção do título de Licenciada em  
Química

Orientador: Prof. Dr. Amadeu Moura Bego

Araraquara

2022

EMANUELA DA CONCEIÇÃO

ANÁLISE DO CONTEÚDO DE ELETROQUÍMICA DE UM DOS 10 LIVROS  
DIDÁTICOS MAIS UTILIZADOS NO ENSINO SUPERIOR DO ESTADO DE  
SÃO PAULO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Instituto de Química, Universidade Estadual  
Paulista (UNESP), como parte das exigências  
para obtenção do título de Licenciada em  
Química.

Araraquara, 21 de janeiro de 2022



BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Amadeu Moura Bego  
Instituto de Química / UNESP Araraquara



---

Me. Matheus Almeida Bauer Zytkeuwisz  
Instituto de Química / UNESP Araraquara



---

Prof. Dr. Nelson Ramos Stradiotto  
Instituto de Química / UNESP  
Araraquara

## **DADOS CURRICULARES**

### **IDENTIFICAÇÃO**

**Nome:** Emanuela da Conceição

**Nome em citação bibliográfica:** CONCEIÇÃO, E.

**FORMAÇÃO ACADÊMICA/TITULAÇÃO:** Ensino médio concluído no Colégio Externato Santa Terezinha, na cidade de Araraquara/SP, no ano de 2015.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha mãe, Gilmara, que mesmo não podendo mais estar comigo fisicamente, foi fundamental para todas as minhas conquistas e creio que de onde ela estiver está olhando por mim. À minha avó materna, Vilma, minha segunda mãe, sem a qual não teria chegado até aqui, de modo que essa conquista também é dela. Ao meu pai, Rogério, por ter me dado a oportunidade de estudar na Unesp e seguir meu sonho.

Dedico também a todos os amigos que fiz durante meus anos de graduação, em especial as amigas para todas as horas que sempre estiveram comigo, Andressa, Gabriella e Carolina. Dedico à Andressa por sempre me dar os melhores conselhos e me arrancar sorrisos quando eu mais preciso. À Gabriella por toda a ajuda durante a realização de trabalhos, provas, e por sempre me lembrar do meu valor e potencial. À Carolina por ter sido minha amiga quando eu mais precisava e ter me acolhido de uma maneira sem igual; graças a ela consegui minha IC e isso foi fundamental para minha formação profissional.

E por fim, mas não menos importante, dedico aos amigos que fiz durante o tempo em que fiquei na iniciação científica, eles sempre terão vital importância na minha vida e também me ajudaram a chegar onde eu estou. Obrigada, Edervaldo e Max, por toda a cumplicidade e dedicação e por terem feito minha experiência maravilhosa.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, Gilmara e Rogério por sempre terem se esforçado e se dedicado para me proporcionar uma educação de qualidade que me permitiu alcançar meus objetivos. Em especial, agradeço imensamente à minha avó materna, Vilma, por sempre me apoiar, acreditar em mim, e me dar a força necessária para enfrentar os meus obstáculos, sem ela eu não estaria aqui hoje, agradeço por todo o carinho e amor que recebi durante toda a minha vida.

Meus agradecimentos à minha psicóloga, Sandra, por toda a ajuda que me proporcionou ao longo dos 4 anos em que fui sua paciente. Ela mais do que ninguém sabe tudo o que tive que superar para chegar até aqui, e eu não teria conseguido sem sua paciência e dedicação sem igual.

Agradeço também ao meu orientador, o professor Amadeu Moura Bego por todo o apoio durante a realização deste trabalho. Eu o admiro muito como profissional e foi uma honra poder desenvolver meu TCC sob sua orientação.

Por fim, agradeço a todos os docentes que tive ao longo da graduação por todo o conhecimento e aprendizado proporcionados para minha formação profissional. Agradeço também aos meus colegas de curso pelo companheirismo e ajuda ao longo dos anos.

## RESUMO

O trabalho aqui proposto trata-se de uma pesquisa qualitativa do tipo documental, especificamente acerca de livros didáticos. O livro didático é um recurso muito utilizado por professores em sala de aula e também por alunos como material de apoio e estudo. No caso de Eletroquímica, o livro didático é largamente utilizado por docentes e discentes no Ensino Superior como suporte na aprendizagem desses conteúdos e, por diversas vezes, é o único material de apoio disponível aos alunos acerca daquele assunto. Também devido à grande relevância da Eletroquímica para o aprimoramento e formação profissional dentro da área de Química, pesquisas dentro dessa vertente são cada vez mais fundamentais. No entanto, são escassos os métodos de análise desenvolvidos para o conteúdo de Eletroquímica em livros didáticos do Ensino Superior. Dessa forma, este trabalho apropriou-se de um *checklist* de Eletroquímica como instrumento de análise, o qual permite que seja avaliada a adequação do material com relação ao seu rigor conceitual. Foi escolhido como objeto de pesquisa um dos livros didáticos mais utilizados por docentes no Ensino Superior de Química no estado de São Paulo. Foram analisados os aspectos fundamentais da Eletroquímica, os quais encontram-se organizados em 2 seções no *checklist*: a primeira contendo os conceitos estruturantes de Eletroquímica e a segunda que diz respeito aos conhecimentos complementares e de suporte da Eletroquímica. Após aplicação do *checklist* foi possível concluir que o livro didático atendeu a maior parte dos critérios analisados de maneira satisfatória e trata-se de uma obra indicada para o ensino de Eletroquímica.

**Palavras-chave:** Livro didático, Eletroquímica, *Checklist*, Ensino Superior.

## ABSTRACT

The work proposed here is a qualitative research of the documentary type, specifically about textbooks. The textbook is a resource widely used by teachers in the classroom and also by students as support and study material. In the case of Electrochemistry, the textbook is widely used by teachers and students in Higher Education as a support in learning these contents and, on several occasions, it is the only support material available to students on that subject. Also due to the great relevance of Electrochemistry for the improvement and professional training within the Chemistry area, research in this area is increasingly fundamental. However, the analysis methods developed for the content of Electrochemistry in higher education textbooks are scarce. Thus, this work appropriated an Electrochemistry checklist as an instrument of analysis, which allows the adequacy of the material to be evaluated in relation to its conceptual rigor. One of the most used textbooks by professors in Higher Education of Chemistry in the state of São Paulo was chosen as the research object. Fundamental aspects of Electrochemistry were analyzed, which are organized into 2 sections in the checklist: the first contains the structuring concepts of Electrochemistry and the second concerns the complementary and supporting knowledge of Electrochemistry. After applying the checklist, it was possible to conclude that the textbook met most of the criteria analyzed in a satisfactory way and it is a work indicated for the teaching of Electrochemistry.

**Keywords:** Textbook, Electrochemistry, Checklist, Higher education.

## **LISTA DE FIGURAS**

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>FIGURA 1:</b> REPRESENTAÇÃO DA CÉLULA GALVÂNICA E CÉLULA ELETROLÍTICA, RESPECTIVAMENTE                 | 37 |
| <b>FIGURA 2:</b> REPRESENTAÇÃO DA MEDIÇÃO DO ELETRODO UTILIZANDO O ELETRODO DE HIDROGÊNIO COMO REFERÊNCIA | 39 |
| <b>FIGURA 3:</b> DISCUSSÃO DO AUTOR ACERCA DA INVENÇÃO DAS PILHAS ELETROQUÍMICAS                          | 47 |
| <b>FIGURA 4:</b> CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE QUÍMICA GERAL                                                  | 48 |
| <b>FIGURA 5:</b> INTRODUÇÃO ÀS PILHAS ELETROQUÍMICAS                                                      | 50 |
| <b>FIGURA 6:</b> DEFINIÇÃO DA ENERGIA DE GIBBS                                                            | 51 |
| <b>FIGURA 7:</b> RELAÇÃO ENTRE A ENERGIA DE GIBBS E O TRABALHO ELÉTRICO                                   | 52 |
| <b>FIGURA 8:</b> RELAÇÃO ENTRE A ENERGIA DE GIBBS E A ESPONTANEIDADE                                      | 52 |
| <b>FIGURA 9:</b> RELAÇÃO ENTRE A ENERGIA DE GIBBS E A DDP DO SISTEMA                                      | 53 |
| <b>FIGURA 10:</b> DDP COMO UMA PROPRIEDADE INTENSIVA DO SISTEMA                                           | 53 |
| <b>FIGURA 11:</b> DEFINIÇÃO DA PILHA DE DANIELL                                                           | 55 |
| <b>FIGURA 12:</b> DEFINIÇÃO DO POTENCIAL DA PILHA                                                         | 56 |
| <b>FIGURA 13:</b> TERMINOLOGIA REFERENTE À DIFERENÇA DE POTENCIAL                                         | 58 |
| <b>FIGURA 14:</b> TERMINOLOGIAS ELETROQUÍMICAS PRESENTES NO LD                                            | 59 |
| <b>FIGURA 15:</b> POTENCIAL DE ELETRODO DEFINIDO PELO LD                                                  | 60 |
| <b>FIGURA 16:</b> REPRESENTAÇÃO DA PILHA DE DANIELL NO LD ANALISADO                                       | 61 |
| <b>FIGURA 17:</b> CONCEITOS DE ELETRICIDADE ABORDADOS NO LD                                               | 63 |

## **LISTA DE QUADROS**

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>QUADRO 1:</b> CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA DA ELETROQUÍMICA                              | 46 |
| <b>QUADRO 2:</b> CONCEITOS FUNDAMENTAIS DA QUÍMICA GERAL PARA A<br>ELETROQUÍMICA.         | 48 |
| <b>QUADRO 3:</b> RELAÇÃO DA ELETROQUÍMICA COM A ELETRICIDADE E A<br>TERMODINÂMICA QUÍMICA | 49 |
| <b>QUADRO 4:</b> CÉLULAS ELETROQUÍMICAS.                                                  | 54 |
| <b>QUADRO 5:</b> TERMINOLOGIAS UTILIZADAS NA ELETROQUÍMICA.                               | 56 |
| <b>QUADRO 6:</b> PROBLEMAS INERENTES NAS ILUSTRAÇÕES E ESQUEMAS.                          | 60 |
| <b>QUADRO 7:</b> CONCEITOS DA ELETRICIDADE.                                               | 62 |
| <b>QUADRO 8:</b> CONCEITOS DA TERMODINÂMICA QUÍMICA.                                      | 63 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|       |                                                   |
|-------|---------------------------------------------------|
| EF    | Ensino Fundamental                                |
| EM    | Ensino Médio                                      |
| ES    | Ensino Superior                                   |
| IUPAC | International Union of Pure and Applied Chemistry |
| LD    | Livro Didático                                    |
| MEC   | Ministério da Educação e Cultura                  |
| PNLD  | Programa Nacional do Livro Didático               |

## Sumário

|                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>APRESENTAÇÃO .....</b>                                                                | <b>12</b> |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                               | <b>15</b> |
| 1.1 O LIVRO DIDÁTICO.....                                                                | 17        |
| 1.1.1 <i>O Livro Didático no Ensino Superior .....</i>                                   | <i>18</i> |
| 1.1.2 <i>O Livro Didático de Eletroquímica no Ensino Superior .....</i>                  | <i>21</i> |
| 1.2 Eletroquímica.....                                                                   | 26        |
| 1.2.1 <i>Contextualização histórica da Eletroquímica .....</i>                           | <i>28</i> |
| 1.2.2 <i>Relação da Eletroquímica com a Eletricidade e a Termodinâmica Química .....</i> | <i>33</i> |
| 1.3 Células Eletroquímicas .....                                                         | 35        |
| <b>2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>                                              | <b>41</b> |
| 2.1 Pesquisa Qualitativa do tipo documental .....                                        | 41        |
| 2.2 Checklist .....                                                                      | 41        |
| 2.2.2 <i>Desenvolvimento do checklist de Eletroquímica.....</i>                          | <i>42</i> |
| <b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                   | <b>46</b> |
| <b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                                     | <b>65</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                  | <b>67</b> |

## APRESENTAÇÃO

Desde que iniciei minha vida escolar tive apoio da minha família para estudar em boas escolas; meus pais e minha avó materna se esforçaram ao máximo para me proporcionar um ensino de qualidade, e com esse propósito, estudei minha vida toda em escolas particulares. Minha avó acompanhou de perto meus estudos e meu desempenho escolar, de modo que fui ensinada desde pequena a me dedicar para tirar notas boas.

Quando era criança brincava de ser professora, até ganhei uma lousa de brinquedo e passava horas dando aulas e era assim que eu estudava para as minhas provas. Fui uma boa aluna, tirava notas boas e não apresentava nenhuma dificuldade significativa na aprendizagem de conteúdos escolares.

Lembro-me de que fui uma criança muito curiosa, minha mãe e eu assistimos sem parar a um desenho que se chamava “De onde vem?” e nele eram feitas perguntas sobre o porquê de certos fenômenos do universo e tudo era explicado de maneira muito divertida e que conseguia atingir o público infantil. Assim sendo, no Ensino Fundamental II, no momento que comecei a ter aulas de Ciências, entender o motivo das coisas serem como são foi se tornando cada vez mais atrativo para mim como aluna estudar essa área e fui desenvolvendo uma paixão por Ciências que também era incrementada com excelentes professores ao longo da minha formação.

Já no Ensino Médio, tive professores de Química excelentes e com certeza eles exerceram grande influência na minha escolha de curso, eu os admirava muito e eles me fizeram desenvolver não só uma vontade de dar aula, mas de dar aula de Química em específico.

Poucas pessoas na minha família além de mim tiveram a oportunidade de fazer faculdade e apenas uma dessas pessoas estudou em uma universidade pública, de modo que esse era o plano dos meus pais para mim e o meu maior objetivo, e como todos os meus professores de Química se formaram na UNESP de Araraquara, aquele passou a se tornar o meu plano principal.

Passei no vestibular e entrei na faculdade com 17 anos, alcancei o meu objetivo que era entrar na UNESP e com isso não precisei mudar de cidade e nem fazer nenhuma mudança brusca, de modo que a minha rotina continuou praticamente a

mesma, nesse aspecto tive a sorte de continuar morando na minha casa e de estar com a minha família.

Logo quando entrei, tive o primeiro contato com as aulas experimentais no primeiro ano, o que despertou muito meu interesse, era uma experiência nova para mim, ter contato com essa outra parte da Química. E naquele momento trabalhar com a Química dura também me pareceu uma opção viável, já que desde o começo entrei certa de que seria professora.

No primeiro ano optei por não participar de nenhum projeto de extensão, pois foi uma fase de adaptação e assimilação de tudo o que estava acontecendo tanto em minha vida acadêmica quanto pessoal, já que em 2016 assim que entrei minha mãe foi diagnosticada com câncer e veio a falecer no ano de 2017, o que causou um impacto direto no meu desempenho acadêmico, pois em decorrência disso tive diversos problemas com crises de ansiedade e depressão ao decorrer dos anos e a terapia foi um fator fundamental na minha vida, não tinha energias naquele momento para adentrar em coisas novas, de modo que só a minha terapeuta conseguiu me ajudar e me convencer a não desistir do curso.

Fiz minha iniciação científica em Eletroanalítica durante 2 anos e desde que comecei tive experiências incríveis tanto no laboratório vivendo na prática o que é desenvolver um projeto de pesquisa e realizar experimentos, mas também na elaboração de relatórios e artigos e pela primeira vez participei de um congresso de divulgação científica.

No ano de 2020 decidi tentar algo diferente e participei da comissão organizadora do EVEQ, que no fim das contas, acabou sendo realizado de maneira remota. Essa foi uma experiência que agregou demais no meu desenvolvimento como futura professora de Química, já que além de ter participado da organização de um evento tão importante quanto o EVEQ, o TCC foi o principal foco dele e isso me aproximou ainda mais da temática de pesquisa em Educação em Ciências e como o meu próprio TCC estava se aproximando, foi quando realmente comecei a pensar mais sobre isso e sobre quais possibilidades existiam para eu realizar a minha própria pesquisa.

Com certeza assistir as defesas dos meus colegas foi algo bem esclarecedor no que diz respeito a quantidade de temáticas possíveis e diferentes que podem ser

trabalhadas não somente em um trabalho de conclusão de curso, mas em âmbitos de pós-graduação também.

Uma disciplina que colaborou muito com a minha escolha de projeto de pesquisa para o TCC foi a de Instrumentação para o Ensino de Química, pois nela aprendemos diversas estratégias didáticas que podem ser utilizadas na sala de aula, desde jogos a analogias e também estudos de caso. Ao longo da disciplina, foi apresentado pela primeira vez o conceito de um planejamento didático chamado de UDM, Unidade Didática Multiestratégica, que engloba todos os pontos principais antes de ministrar uma aula, desde de orientações curriculares oficiais a possíveis concepções alternativas e obstáculos epistemológicos dos alunos, até a abordagem metodológica escolhida para a elaboração de fato das sequências didáticas que serão aplicadas.

Levando em conta todo o planejamento didático, uma das partes mais importantes dele é a escolha da referência bibliográfica, de um material de apoio para os alunos e também que sirva de embasamento para os professores prepararem suas aulas. Assim, optei por utilizar um livro didático de Eletroquímica como meu objeto de pesquisa, devido à sua relevância dentro da sala de aula e também por ser uma área que eu tenho mais proximidade graças à iniciação científica.

## 1. INTRODUÇÃO

O livro didático (LD) é uma importante ferramenta e uma das mais utilizadas por professores e alunos em todos os níveis educacionais, desde a educação básica até a pós-graduação. Tanto professores quanto alunos fazem uso desse recurso seja como referência bibliográfica, guia para estudos, preparação de aulas e exercícios, fonte de imagens, gráficos, tabelas, entre outros (LOGUERCIO; SAMRSLA; DEL PINO, 2001; MEGID NETO; FRACALANZA, 2003; MÉNDEZ; SLISKÓ, 2014; NÚÑEZ *et al.*, 2003; SOUZA; MATE; PORTO, 2011).

O LD em muitas ocasiões é o principal instrumento utilizado pelos professores para a preparação das aulas e pelos alunos para aprender o conteúdo do assunto estudado. É através do LD que o professor apresenta aos alunos conhecimentos científicos, fazendo com o que o LD seja uma fonte de informações da qual o professor se utiliza dentro e fora da sala de aula (MÉNDEZ; SLISKÓ, 2014).

Megid Neto e Fracalanza (2006) realizaram uma pesquisa sobre professores de ciências e identificaram a maneira como eles utilizam o LD, dividindo em três categorias: planejamento didático-pedagógico ao longo do ano letivo, material de apoio em atividades de ensino-aprendizagem e referência bibliográfica.

Para Núñez *et al.* (2003), o LD como material didático serviria como fonte de aprendizagem para professores e alunos ao longo do processo de ensino e deve funcionar como uma “fonte viva de sabedoria” capaz de guiar os alunos durante seu desenvolvimento cognitivo. Além do papel desenvolvido no processo de aprendizagem, o LD supostamente também fornece aos alunos valores científicos que contribuem para uma visão sobre a ciência e, por consequência, para o desenvolvimento social do aluno (UYULGAN *et al.*, 2011).

Atualmente, o LD deixou de ser apenas um recurso didático utilizado em sala de aula e vem sendo cada vez mais visto como um produto comercial que visa o lucro financeiro (FREITAS FILHO *et al.*, 2017). Com o avanço cada vez maior da tecnologia, editoras estão apostando em versões digitais do LD, visto que eles continuam sendo indispensáveis no processo de ensino e, dessa forma, o acesso a eles pode ser facilitado (MÉNDEZ; SLISKÓ, 2014).

Porém, apesar da comercialização desses LD, é imprescindível que a qualidade do conteúdo presente neles seja analisada. Os LD destinados ao Ensino Fundamental

(EF) e Ensino Médio (EM) de escolas públicas passam por uma análise para verificar se esses materiais se encontram dentro dos requisitos estipulados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) e, se apresentarem resultados satisfatórios, são distribuídos (FREITAS FILHO *et al*, 2017). Porém, não existe nenhum programa específico para a realização de tal análise em LD utilizados no Ensino Superior (ES), ficando, assim, a critério do docente qual o melhor livro a ser utilizado.

Embora sejam encontrados vários artigos e trabalhos acerca de LD de química, quase não é encontrado um trabalho que apresente um instrumento para analisar o conteúdo de Eletroquímica no ES. Por esse motivo, Freitas (2021) desenvolveu e validou uma ferramenta de análise para LD de Eletroquímica, o *checklist*. Freitas (2021) utilizou-se do referencial teórico desenvolvido por Leite (2002), que se tratava de um *checklist* para a análise do conteúdo histórico da ciência presente no LD, e o adaptou para a realização da análise do conteúdo de Eletroquímica em LD para o ES.

No ensino de Eletroquímica é observada a ampla utilização de LD como material de apoio tanto para docentes quanto para discentes e, desse modo, é de extrema importância que seja avaliada a qualidade desse recurso didático amplamente utilizados como referencial teórico na construção do conhecimento científico (FREITAS, 2021).

Em seu trabalho, Freitas (2021) levanta alguns questionamentos sobre quais conteúdos são indispensáveis para o ensino de Eletroquímica, considerados como “conceitos estruturantes” e também como esses conceitos químicos são abordados nos LD de Eletroquímica. Tais conceitos estruturantes são definidos por Gagliardi (1986) como um conceito cuja construção transforma o sistema cognitivo e a partir disso permite a aquisição de novos conhecimentos, e até mesmo a transformação de um conhecimento prévio.

Este trabalho tem como objetivo analisar o conteúdo de Eletroquímica de um LD utilizado no ES no que diz respeito às definições conceituais dessa área. Para tal feito, foi utilizado como instrumento de análise o *checklist* de Eletroquímica desenvolvido por Freitas (2021) para avaliar um dos livros mais utilizados por docentes no ES de química no estado de São Paulo. Assim sendo, a relevância deste trabalho está na verificação da coerência do conteúdo por avaliação do rigor conceitual dos conteúdos

de Eletroquímica presentes nesse material didático amplamente utilizado em sala de aula.

Inicialmente, apresenta-se uma breve discussão sobre o LD no Brasil e uso no ensino de Eletroquímica. Em seguida é apresentada uma contextualização da Eletroquímica no Brasil, como também os seus conceitos estruturantes. Posteriormente, são descritos os objetivos do estudo, os procedimentos metodológicos utilizados, a descrição do processo de criação e validação do *checklist* e, por fim, a apresentação dos resultados, a discussão e as considerações finais.

### **1.1 O Livro Didático**

No Brasil, desde a década de 1930, o governo federal juntamente com o Ministério da Educação e Cultura (MEC) investem em programas que garantem a distribuição gratuita dos LD e se preocupam com a qualidade desses materiais (MEGID NETO; FRACALANZA, 2003). Com o novo Decreto-lei nº 8460, estipulado em 1945, a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD) teve o seu poder legislativo redirecionado para o governo federal e desse modo, o controle de adoção do LD pelas escolas ficou a critério do Estado (HÖFLING, 2006).

Dentre as ações do governo e do MEC acerca dos LD, destaca-se a criação do PNLD, estabelecido pelo decreto-lei nº 91.542 no dia 19 de agosto de 1945 (BATISTA, 2001; BRASIL, 1985). Com isso, a partir daquele momento, ficou a critério do PNLD a distribuição gratuita dos LD e a sua análise para garantir sua qualidade para todo o EM que na época era denominado de 2º Grau.

Nos anos 2000, foram criadas outras medidas que visavam a distribuição gratuita de LD para as escolas públicas, e desse modo, foram criados o Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM), por meio da resolução CD/FNDE nº 38, de 15 de outubro de 2003 (BRASIL, 2003), e o Programa Nacional do Livro Didático para a Alfabetização de Jovens e Adultos (PNLA), por meio da Resolução CD/FNDE nº 18, de 24 de abril de 2007 (ZAMBON; TERRAZZAN, 2013). Assim como o PNLD, esses programas foram criados para garantir a qualidade dos LD que chegavam às escolas. A partir de 2010, o PNLEM foi extinto, e apenas o PNLD continuou em vigência (BRASIL, 2009).

Para garantir a qualidade dos LD, o PNLD desenvolveu o Guia do Livro Didático, que é uma síntese dos relatórios de avaliação das obras apresentadas e é desenvolvido por especialistas contratados para analisar esses LD antes de chegarem às escolas. Essa avaliação é feita para que professores tenham referência de quais obras podem adotar. Assim, fica a critério do professor a escolha do LD com base na avaliação dos especialistas e nas indicações para os conteúdos específicos (SOUZA; MATE; PORTO, 2011).

Em decorrência da extrema importância que o LD desempenha no ensino, observa-se que na literatura existem diversos trabalhos acerca do LD. Entretanto, a maioria desses trabalhos se limita a LD destinados à Educação Básica e pouco se encontra a respeito dos LD utilizados no nível superior (SOUZA; MATE; PORTO, 2011).

#### **1.1.1 O Livro Didático no Ensino Superior**

Apesar da extrema importância de o LD ser reconhecida e o número de trabalhos e pesquisas a respeito dele terem crescido nos últimos anos, ainda assim são restritos os trabalhos acerca de LD utilizados no ES encontrados na literatura (FREITAS, 2021).

Conforme apontado anteriormente, no ensino de química, o LD tem um papel fundamental como material de apoio para professores e alunos. Os professores se utilizam dele para a preparação de suas aulas, elaboração de atividades avaliativas, explicação de temas que estão sendo trabalhados, entre outros (LOPES, 1992). Para os alunos de graduação, o LD é tido como material de apoio que os alunos recorrem para sanar eventuais dúvidas, consultar grande parte do conteúdo teórico que é passado em sala de aula e facilitar o seu entendimento a respeito dos conceitos trabalhados (FREITAS, 2021).

O LD também tem importante relação com a formação de profissionais de química, visto que é por meio dele que os universitários têm contato com os conteúdos científicos que futuramente devem ter domínio para exercer sua profissão (FERNANDES; PORTO, 2012). Os LD durante toda a trajetória acadêmica dos alunos

de graduação desempenham um papel crucial de material de apoio e pesquisa (FREITAS, 2021).

Na literatura são encontrados alguns trabalhos sobre LD de química para o ES, sendo a maioria direcionada aos livros de Química Geral e aos conteúdos de Química Geral e Química Orgânica. Entre essas pesquisas encontram-se a de Francisco Junior, Francisco e Oliveira (2012) sobre as analogias de livros de química geral; Fernandes e Porto (2012) sobre a história da ciência nos livros de química geral; Gonçalves e Julião (2016) sobre as analogias nos livros didáticos; Raupp e Del Pino (2015) sobre historicidade da estereoquímica em livros de química orgânica; entre outros.

No trabalho desenvolvido por Francisco Junior, Francisco e Oliveira (2012), os autores realizaram a análise do uso de analogias em livros de química geral do ES e compararam com as analogias encontradas em livros de química do EM. Ao todo, foram analisadas 7 obras de química geral para o ES. Os autores perceberam que os LD do ES apresentavam mais analogias do que os LD de EM e que em sua maioria eram analogias conceituais. Enquanto as analogias do ES dizem respeito à estrutura atômica, geometria molecular e ligação iônica, as analogias do EM são referentes à estrutura química e cinética química. Porém, os autores defendem que é papel do professor discutir com os alunos quais as limitações das analogias e até que ponto elas podem ser utilizadas de acordo com suas características para o entendimento de algum conceito químico, levando em conta seus atributos correspondentes e não correspondentes.

No trabalho de Fernandes e Porto (2012), os autores investigaram de que maneira a história da ciência está presente nos livros destinados às disciplinas introdutórias de cursos de química no ES. Os autores fizeram a análise da história da ciência em 3 LD e identificaram que ela é abordada de diferentes formas nos livros, como em ilustrações ou com profundidade descrevendo os acontecimentos ao longo do tempo. Os autores relataram ainda que se aprofundar em acontecimentos históricos pode contribuir na apropriação de novos conceitos por parte dos estudantes e auxiliar no seu desenvolvimento científico. Desse modo, apenas um dos livros

analisados atendem ao que é defendido pelos autores e utiliza a história da ciência como estratégia de ensino.

Os autores Gonçalves e Julião (2016) realizaram um comparativo de analogias encontradas em 3 livros de físico-química e 3 livros de química orgânica. Os autores relataram que o uso de analogias pode ser benéfico ou prejudicial, cabendo ao professor o julgamento de qual a melhor analogia a ser utilizada e a melhor forma de explicá-la. Nos livros de química orgânica foram encontradas analogias estruturais enquanto nos de físico-química analogias funcionais. As analogias quando não utilizadas corretamente podem levar a erros conceituais, de modo que as analogias para serem utilizadas devem ser enriquecidas e algumas com essa característica foram encontradas apenas nos livros de química orgânica.

A pesquisa de Raupp e Del Pino (2015) é voltada para a historicidade e contextualização da estereoquímica nos livros de química orgânica. Foram selecionados os 4 livros mais utilizados de química orgânica nas universidades públicas. Os autores se basearam na relação do conteúdo de estereoquímica com o cotidiano que foi encontrado no LD e propiciou uma contextualização do conhecimento. Os autores confirmaram que os livros possuíam contextualização histórica e faziam relação com o cotidiano, o que foi caracterizado por estes como um ponto positivo.

Com essa breve rcontextualização, é possível observar que os pesquisadores estão preocupados com a qualidade do conteúdo presentes nos LD que são utilizados no ensino de química. Os trabalhos que foram encontrados avaliam diferentes características dos LD como, por exemplo, a maneira na qual eles abordam o conteúdo, o desenvolvimento do conhecimento científico, a contextualização histórica, entre outros. Os trabalhos mais encontrados foram sobre química geral, química orgânica e inorgânica. Diante dessas pesquisas, é possível afirmar a importância do LD para professores e alunos.

Todavia, ao contrário dos demais níveis de ensino, o ES não possui um programa nacional de análise de seu conteúdo para as instituições de nível superior. Segundo Souza, Mate e Porto (2011, p. 875), “os livros destinados ao ensino

universitário permanecem marginais, raramente constituindo objeto de pesquisa”. Dessa forma, fica a critério de cada instituição a escolha do material didático utilizado em seu currículo.

Em virtude da grande influência que os LD possuem na formação acadêmica dos estudantes, faz-se necessário a análise dos materiais que serão consumidos por professores e universitários (SOUZA; MATE; PORTO, 2011). Assim, é necessário que esses LD passem por um processo de análise para verificar se estão aptos a serem utilizados como material didático em cursos de nível superior. Enquanto no nível básico (EF e EM) os LD passam por um minucioso processo de análise com o PNLD, os LD do ES não sofrem nenhum tipo de análise. Os LD utilizados no ES são adquiridos por meio de verba pública, isto é, a verba que está sendo investida na compra desse material provém do erário público. Assim como nos EF e EM, os LD utilizados no ES também necessitam de avaliação para que o dinheiro público investido seja consumido em materiais de qualidade que contribuirão para a boa formação de profissionais que futuramente retribuirão algo para a sociedade.

As pesquisas relacionadas ao LD de química vêm crescendo em áreas da química geral, em temas como diagrama de orbitais, tabela periódica, substâncias e soluções, entre outros. Mas, ainda assim, pouco se observa a respeito do conteúdo de Eletroquímica presente nesses LD.

### **1.1.2 O Livro Didático de Eletroquímica no Ensino Superior**

A Eletroquímica é uma área da química que é estudada tanto no EM quanto no ES. A Eletroquímica tem a sua importância em função das suas aplicações no cotidiano, desde o desenvolvimento de baterias até mesmo na neurociência (ZANONI *et al.*, 2017). A Eletroquímica apresenta soluções para a sociedade moderna para problemas do passado e futuros como, por exemplo, obtenção de energia renovável e remediação ambiental.

Os conceitos eletroquímicos são fundamentais e fenômenos elétricos são fundamentais para o entendimento de reações de redução e oxidação de células Eletroquímicas, sobre a conservação de massa em processos eletródicos, entre outros (CAMEL; PACCA, 2011). Para Zanoni (2017), a Eletroquímica é

caracterizada pela sua natureza universal e interdisciplinar, desempenhando papel importante no desenvolvimento da ciência com seus resultados sendo refletidos no crescimento econômico e na melhoria na qualidade de vida.

O ensino de Eletroquímica pode ser considerado interdisciplinar, pois para o entendimento e compreensão de seus fenômenos são necessários conhecimentos de Química Geral, Termodinâmica Química, Física, eletricidade, eletrostática e eletrodinâmica (ZYTKUEWISZ, 2018). Desse modo, uma das dificuldades encontradas pelos estudantes no entendimento da Eletroquímica se deve à deficiência de aprendizagem de conteúdos químicos e elétricos que permeiam a Eletroquímica (FREITAS, 2021). Essas dificuldades podem ser reflexo de equívocos conceituais que muitos estudantes têm sobre esses temas.

Essas dificuldades apresentadas pelos alunos podem ser agravadas pelo uso de LD que apresentem conceitos errôneos e representações equivocadas sobre determinados assuntos, transmitindo aos alunos concepções inexatas sobre o conteúdo (FREITAS, 2021). O uso de LD que apresentem esses conceitos errôneos pode estar relacionado à falta de conhecimento sobre o conceito correto. Fato este que pode até revelar a má formação do docente em relação ao conteúdo de Eletroquímica. O docente utiliza muitas vezes o LD como principal instrumento de apoio para preparar suas aulas e pode não conseguir identificar nesse material conceitos inexatos do conteúdo a ser trabalhado (CARMEL; PACCA, 2011).

Nas últimas décadas diversas pesquisas acerca do ensino de Eletroquímica e sobre LD foram realizadas, entretanto trabalhos relacionados ao ensino de Eletroquímica e LD são escassos na literatura (FREITAS, 2021). Entre alguns dos trabalhos realizados destacam-se alguns internacionais como Ogude e Bradley (1994 e 1996); Sanger e Greenbowe (1997 e 1999). Entre os trabalhos nacionais, destaca-se o de Caramel e Pacca (2011).

Entretanto, pesquisas relacionadas somente ao conteúdo de Eletroquímica são significativas na literatura. A maioria dos trabalhos busca identificar quais as principais dificuldades dos estudantes em relação a conteúdos eletroquímicos, quais conceitos são considerados mais complexos, entre outros (FREITAS, 2021). Por exemplo, na

pesquisa de Lima e Mercedes (2005), as pesquisadoras relataram que os professores do EM consideram o conteúdo de Eletroquímica como complexo e desafiador para ensinar.

No trabalho de Ogude e Bradley (1994), os autores identificaram as principais dificuldades encontradas por alunos do EM e do ES na interpretação qualitativa de processos microscópicos que ocorrem nas células eletrolíticas. Foram identificadas também quatro áreas da Eletroquímica nas quais os alunos apresentavam maior dificuldade, sendo elas: condução eletrolítica, eletroneutralidade, processos e terminologias dos eletrodos e os aspectos relacionados aos componentes das células, corrente e diferença de potencial (ddp). Os autores perceberam que muitas dessas dificuldades estavam relacionadas aos conteúdos presentes nos LD, devido à definição errônea de alguns conceitos. Concluíram que os principais equívocos dos alunos são sobre desequilíbrio de cargas no eletrólito, presença de elétrons em solução, direção incorreta do movimento de cátions e ânions no eletrólito, ponte salina, sentido correto do fluxo do elétron em fios externos.

Nesse mesmo trabalho, Ogude e Bradley (1994) apresentaram as principais dificuldades encontradas por alunos do EM e do ES no estudo de Eletroquímica, principalmente em relação à terminologia dos eletrodos, aspectos relativos aos componentes das células eletroquímicas, ddp das células e corrente elétrica. Tanto os estudantes do nível básico quanto do nível superior apresentavam dificuldades em conceitos básicos de Eletroquímica como, por exemplo, cátodo, ânodo, sinal do eletrodo, além das definições sobre o que é ponte salina e na compreensão de reações de oxidação-redução. Concluíram, então, que os estudantes definem de maneira errônea conceitos de Eletroquímica e componentes de circuitos elétricos, como voltímetro e amperímetro. Esses autores também afirmam que esses erros conceituais podem ser provenientes de definições inexatas presentes em LD.

Sanger e Greenbowe (1997) identificaram em seu trabalho os principais equívocos apresentados por estudantes do ES sobre Eletroquímica, especificamente em relação a células galvânicas, células eletrolíticas e células de concentração (Nernst). Os autores sugeriram possíveis fatores para explicar a apropriação deficiente que os alunos apresentam em relação a esses conceitos e concluíram que

podem estar relacionados à maneira como é ensinado o conteúdo de Eletroquímica, a falta de interdisciplinaridade dessa área com demais conteúdos provenientes da química e da física e também os LD que são escolhidos e utilizados como referência bibliográfica que podem apresentar erros conceituais.

Os autores Sanger e Greenbowe realizaram outro trabalho em 1999 no qual buscaram identificar de que maneira os LD de química no ES podem contribuir como fonte de conceitos inexatos e causar dificuldades na compreensão dos estudantes. Os autores analisaram o conteúdo de Eletroquímica presente em 10 LD e buscavam identificar se esses livros apresentavam conceitos errôneos ou declarações enganosas sobre conceitos científicos. Por fim, concluíram que muitos desses livros apresentavam erros conceituais e ilustrações errôneas a respeito do conteúdo.

Dentre os trabalhos nacionais a respeito de Eletroquímica e LD, destaca-se o de Caramel e Pacca (2011). Nessa pesquisa, as autoras buscaram identificar quais as concepções alternativas de estudantes tanto do nível médio quanto do nível superior sobre células eletroquímicas. As autoras identificaram que a principal dificuldade que os alunos possuíam era em relacionar conceitos físicos e químicos envolvendo células galvânicas e eletrolíticas. Caramel e Pacca (2011) apontaram que os estudantes apresentavam grandes dificuldades na explicação de fenômenos microscópicos que aconteciam nas células Eletroquímicas como oxidação, redução, íons, cátions, ânions e outros. Ao fim, as autoras concluíram que essas concepções alternativas podem ser provenientes de definições equivocadas encontradas em LD utilizados.

Tsaparlis (2018) fez uma revisão de trabalhos presentes na literatura sobre o ensino de Eletroquímica. Esses trabalhos visavam a identificação de equívocos, concepções errôneas e dificuldades apresentadas tanto por professores quanto por alunos acerca de conteúdos da Eletroquímica. Os conceitos mais discutidos são a respeito de eletrólitos, equações redox, células eletroquímicas e equação de Nernst. Os artigos encontrados identificam quais são os equívocos de professores e alunos e quais as causas por trás dessa problemática, e apontam que um dos principais fatores é o LD (TSAPARLIS, 2018).

De acordo com o que é encontrado na literatura, é possível afirmar que as dificuldades apresentadas por professores e alunos no ensino de Eletroquímica são provenientes das dificuldades em relação aos conceitos estruturantes de Eletroquímica (FREITAS, 2021). Devido à relevância desses conceitos estruturantes no ensino de Eletroquímica, faz-se necessário que pesquisas sejam feitas em relação a eles.

Assim sendo, pesquisas a respeito desses conceitos estruturantes se fazem necessárias para o entendimento da Eletroquímica, já que várias pesquisas encontradas na literatura apontaram que uma das principais causas dos equívocos e concepções errôneas dos alunos se deve ao LD. Garnett e Treagust (1992) sugerem que os professores e autores de LD trabalhem relacionando o conteúdo de Eletroquímica com esses conceitos estruturantes provenientes da química e da física. Dessa forma, é necessário que os alunos tenham domínio desses conteúdos básicos acerca de células eletroquímicas.

Özkaya, Üce e Sahin (2003) apresentaram em seu trabalho concepções alternativas dos alunos do ES a respeito de conceitos de Eletroquímica no curso de química. Entre os principais temas geradores dessas concepções, destacam-se: potenciais de eletrodo e ddp, identificação do cátodo e ânodo, condução metálica e eletrolítica, equilíbrio químico e eletroquímico, reações nos eletrodos e nas células Eletroquímicas. É relevante ressaltar que esses temas são considerados conceitos estruturantes no ensino de Eletroquímica.

Birss e Truax (1990) discutiram em seu artigo sobre a aprendizagem dos conceitos de Eletroquímica. É abordado ao longo do texto, fatores que podem ser prejudiciais à aprendizagem dos alunos. Para Birss e Truax (1990), os LD utilizados no ensino de Eletroquímica no EM e nos anos iniciais do ensino superior tem maior probabilidade de apresentar problemas nos conceitos teóricos teriam necessidade ser corrigidos para não prejudicar os alunos e gerar dificuldades na compreensão, entre eles, destaca-se: falta de descrição detalhada e clara sobre requisitos instrumentais para a medição de potencial entre dois eletrodos. Os alunos aprendem inicialmente conceitos de Eletroquímica de maneira básica e apresentam dificuldade em relacioná-los com conceitos de termodinâmica e cinética química.

Com base na revisão dos trabalhos discutidos até aqui, percebe-se que grande parte deles busca identificar a compreensão das concepções alternativas dos estudantes sobre Eletroquímica. Percebeu-se que não existem muitos trabalhos sobre o conteúdo de Eletroquímica e o LD. Também não é encontrado muito material a respeito de um método para análise do conteúdo de Eletroquímica nos LD. Contudo, apesar de existirem diversos trabalhos que indicam que o LD pode ser o causador de concepções alternativas nos alunos, quase não é encontrado nenhum material que avalie as terminologias, contextualização histórica e fundamental dos conceitos de Eletroquímica presentes nos LD. Com essa problemática em questão, Freitas (2021) elaborou um instrumento de análise para o conteúdo de Eletroquímica, o *checklist*, baseado na pesquisa de Leite (2002), para avaliação do dos LD de Eletroquímica do ES.

A seguir, discute-se a história da Eletroquímica no Brasil e os conceitos estruturantes que envolvem seu ensino. Assim como uma breve discussão sobre conhecimentos eletroquímicos e qual a importância de estudá-los.

## **1.2 Eletroquímica**

O desenvolvimento da Eletroquímica no Brasil ocorreu entre as décadas de 1960 e 1970. Nesse período muitos pesquisadores estrangeiros vieram para o Brasil, especificamente para o interior de São Paulo, onde foram desenvolvidas pesquisas em Eletroquímica e Eletroanalítica no país (AVACA; TOKORO, 2002). De modo geral, a Eletroquímica brasileira foi difundida por professores estrangeiros, entre eles Prof. Dr. Ivo Jordan, Prof. Dr. Tibor Rabóczkay, Prof. Dr. Pawel Krumholz, Prof. Dra. Helena Li Chum, Prof. Dr. Alejandro Jorge Arvia, Prof. Dr. Hélio Chagas, Prof. Dr. Ernesto Rafael González, entre outros. Com o passar do tempo, muitos professores brasileiros também deixaram suas contribuições para a Eletroquímica, entre eles Prof. Dr. Eduardo Fausto de Almeida Neves, Prof. Dr. Marco-Aurélio De Paoli, Prof. Dr. Oscar Rosa Mattos, Prof. Dr. Nelson Ramos Stradiotto, Prof. Dr. Assis Vicente Benedetti, entre outros (AVACA; TOKORO, 2002).

Até os dias de hoje, a Eletroquímica continua contribuindo para o avanço científico do país. De acordo com Zanoni *et al.* (2017), houve um aumento

considerável de trabalhos publicados a respeito de Eletroquímica e Eletroanalítica. O país está evoluindo nesse sentido graças à consolidação da sociedade científica, congressos científicos, entre outros eventos que contribuem para a divulgação científica da Eletroquímica e sua evolução (ZANONI *et al*, 2017).

A Eletroquímica é o ramo da química que estuda reações químicas envolvendo correntes e potenciais elétricos (NAGY, 2008). É uma ciência que envolve conceitos físicos e químicos na transferência de carga, massa e energia.

O ensino de Eletroquímica no nível superior é considerado complexo devido à sua multidisciplinaridade, pois envolve conceitos de eletricidade, Química Geral, Termodinâmica Química e outros. Devido ao fato de ser uma área muito extensa, ela é dividida em duas frentes, sendo elas a Termodinâmica Eletroquímica e a Cinética Química. De acordo com Zytkeuwisz (2018, p. 97):

[...] a Termodinâmica Eletroquímica, a qual aborda sistemas eletroquímicos que se encontram em equilíbrio termodinâmico; e a Cinética Eletroquímica, que envolve a compreensão de sistemas que evoluem para o equilíbrio espontaneamente (modo galvânico) ou sofrem transformações por meio da aplicação de trabalho elétrico (modo eletrolítico).

De modo geral, a Eletroquímica se trata do estudo das reações químicas que ocorrem na presença de um fluxo de eletricidade, sejam elas espontâneas ou induzidas (célula galvânica e eletrolítica, respectivamente).

Diante da divisão do ensino de Eletroquímica, o presente trabalho foca-se na análise de apenas uma das frentes dessa área nos LD de ES, sendo ela a Termodinâmica Eletroquímica. Em virtude da multidisciplinaridade existente no Ensino de Eletroquímica, o desenvolvimento dos conceitos da estruturantes da Termodinâmica Eletroquímica envolvem conhecimentos básicos a respeito de eletricidade, Química Geral e Termodinâmica.

Os conceitos básicos de eletricidade são de extrema importância na aprendizagem de Eletroquímica. Os conceitos que estão diretamente ligados à Eletroquímica são: carga elétrica, força elétrica, campo elétrico, energia potencial

elétrica, potencial elétrico, trabalho elétrico, diferença de potencial elétrico (ddp) e corrente elétrica.

Alguns conceitos fundamentais da Química Geral também são essenciais para o ensino da Eletroquímica. Entre os conceitos de Química Geral essenciais para a Eletroquímica, encontra-se: carga formal, número de oxidação (Nox), conceitos de oxidação e redução, reações redox, balanceamento redox e balanceamento de carga.

Além dos conceitos de eletricidade e Química Geral que precedem os conhecimentos de Eletroquímica, em Termodinâmica Química existem conceitos base necessários ao entendimento da área, entre eles: entalpia de reação, entropia, espontaneidade termodinâmica, energia de Gibbs, energia livre de reação, equilíbrio químico.

Os conhecimentos prévios de outras áreas da química e da física dão base para todo o entendimento da Eletroquímica e dessa forma faz-se necessário que eles sejam bem claros e definidos para docentes e discentes.

### **1.2.1 Contextualização histórica da Eletroquímica**

A contextualização histórica da Eletroquímica tem papel crucial no ensino desse conteúdo; é fundamental para demonstrar aos alunos que existem conceitos que antecedem a própria Eletroquímica, como, por exemplo, conceitos de eletricidade. Os aspectos históricos dessa área da química servem para contribuir com a compreensão dos fenômenos eletroquímicos. Ao trazer a contextualização histórica, o LD apresenta a importância de resgatar conhecimentos de eletrostática, eletrodinâmica e outros que são a base para a formação da Eletroquímica (FREITAS, 2021).

Dessa forma, considera-se indispensável a recapitulação do desenvolvimento da eletricidade para a contextualização histórica da Eletroquímica, uma vez que o estabelecimento de conceitos primordiais da Eletroquímica se funde com o surgimento da eletricidade. Portanto, para que isso ocorra de maneira adequada, o LD deve trazer relatos históricos a respeito dos cientistas que contribuíram com o seu desenvolvimento (FREITAS, 2021).

Os primeiros registros sobre estudos dos fenômenos elétricos datam do século XVI com o trabalho sobre imãs do físico inglês William Gilbert (1544-1603), conhecido como o pai do magnetismo (SHUKLA; KUMAR, 2008). Gilbert percebeu que materiais feitos de vidro e enxofre apresentavam comportamentos semelhantes ao âmbar quando colocados em atrito. O ato de friccionar pedras de âmbar já era de conhecimento dos antigos gregos, porém o fenômeno foi nomeado por Gilbert como “elétrica”, que se refere à palavra âmbar em grego (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013).

No século XVII, o físico alemão Otto von Guericke (1602-1680) construiu o primeiro gerador elétrico no ano de 1663 (SHUKLA; KUMAR, 2008). O aparelho gerava eletricidade estática quando uma esfera de enxofre, que girava em torno de um eixo, era atritada com outro equipamento com a mão (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013; OKI, 2000). Devido ao atrito, a eletricidade estática acumulada na esfera era descarregada em forma de faíscas, formando cargas elétricas. Os fenômenos observados foram essenciais para o entendimento de conceitos elétricos na época (OKI, 2000).

Os séculos XVII e XVIII foram importantes para o avanço da eletricidade nos quais experimentos e formulações teóricas foram realizados. No ano de 1729, o cientista inglês Stephen Gray (1666-1736) fez uma constatação de um processo de eletrização por indução, que ocorria em sua maioria em objetos metálicos. Na mesma época, Gray conseguiu distinguir os corpos como condutores e não-condutores de eletricidade (ou isolantes).

Ainda no século XVIII, o químico francês Charles François de Cisternay du Fay (1698- 1739) percebeu a existência de dois tipos de eletricidade estática. O químico sugeriu que a eletricidade consistia de dois fluidos, sendo um deles referente à eletricidade positiva e outro à eletricidade negativa (SHUKLA; KUMAR, 2008). Cisternay du Fay definiu também que cargas iguais se repelem e cargas diferentes se atraem.

Um dos mais renomados cientistas da época, Benjamin Franklin (1706-1790), refutou a teoria de Cisternay du Fay e apresentou sua própria teoria que defendia a existência de apenas um fluido (SHUKLA; KUMAR, 2008). Essa teoria propunha que um corpo não eletrificado teria que conter apenas um único fluido elétrico, de modo

que o excesso de fluido alteraria as cargas negativas e positivas do corpo. As teorias propostas sobre a eletricidade como um fluido abriram caminho para novos estudos a respeito da condução elétrica (OKI, 2000).

Contudo, um dos grandes desafios desse período era a contenção de energia elétrica e sua utilização durante longos períodos de tempo, já que até o momento a eletricidade era tratada apenas em parâmetros qualitativos. Até que no ano de 1781, o físico francês Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806) propôs uma lei de eletricidade estática. Os estudos de Coulomb foram precursores no entendimento e no desenvolvimento da equação da força elétrica (CECCHINI; PELOSI, 1992; SHUKLA; KUMAR, 2008). Desse modo Coulomb conseguiu quantificar os conceitos elétricos.

Com os avanços significativos no conhecimento da eletricidade, começaram os primeiros indícios da Eletroquímica. No final do século XVIII, o médico italiano Luigi Galvani (1737-1798) realizou experimentos utilizando a eletricidade, pois acreditava que esta poderia ter fins terapêuticos (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013). Galvani publicou em 1791 o trabalho intitulado “*De viribus electricitatis in motu musculari Commentarius*”, no qual ele defendia a existência de uma força vital no tecido animal, a qual era ativada quando o metal entrava em contato com o nervo ciático e o músculo de uma rã dissecada (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013; SHUKLA; KUMAR, 2008).

A “eletricidade animal” defendida por Galvani despertou o interesse de vários cientistas na época, de modo que o físico italiano Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827) começou a refazer os experimentos do médico. Ao reproduzir o experimento de Galvani conectando um fio metálico ao nervo da rã dissecada, Volta chegou ao mesmo resultado, porém sem a necessidade de o fio ter contato com o músculo e assim sendo, refutou o que foi afirmado por Galvani (BLONDEL; BENEGHIR, 2017). Volta assumiu que a eletricidade era derivada do contato entre dois metais e as contrações nos músculos da rã eram resultado de uma descarga elétrica. Então, Volta propôs a “Teoria do Contato”, a qual defende que existem tendências de diversos metais em gerar eletricidade por meio do contato entre eles (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013; CECCHINI; PELOSI, 1992). Após testar a “eletricidade animal” em seu próprio corpo, Volta afirmou que Galvani se equivocou

em sua teoria e a contração dos músculos era derivada de pequenas correntes elétricas dos metais.

A partir dessa constatação, em 1799, Volta desenvolveu pela primeira vez na história um dispositivo eletroquímico baseado em sua Teoria do Contato. O dispositivo consistia no empilhamento de discos de zinco e prata separados por pedaços de papel umedecidos por solução de ácido sulfúrico. A partir desse experimento o cientista conseguiu gerar um fluxo de corrente elétrica contínuo e apontou evidências para uma nova área da ciência, a Eletroquímica. Com esse experimento, Volta deu origem à primeira “pilha” capaz de produzir corrente elétrica e ficou conhecida como pilha voltaica. Além da Teoria do Contato e da pilha voltaica, Volta também propôs aparelhos como o eletróforo e o eletroscópio e desenvolveu um condensador elétrico capaz de medir pequenas tensões elétricas (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013; CECCHINI; PELOSI, 1992). A unidade do SI de tensão elétrica, Volt (V), foi em homenagem aos trabalhos desenvolvidos por Volta.

A invenção da pilha voltaica abriu margem para novos estudos utilizando a corrente elétrica, como o desenvolvimento de baterias e a decomposição elétrica que futuramente seria chamada de eletrólise (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013). Um tempo depois da pilha voltaica, os ingleses Anthony Carlisle (1768-1840) e William Nicholson (1753-1815) fizeram um experimento utilizando a pilha e os conhecimentos estabelecidos até então sobre eletricidade, para decompor a água em gás hidrogênio e gás oxigênio (OKI, 2000; SHUKLA; KUMAR, 2008). O alemão Johann Wilhelm Ritter (1776-1810) conseguiu aprimorar os experimentos de Carlisle e Nicholson e coletar separadamente os gases produzidos na eletrólise, desenvolvendo um processo de eletrodeposição (SHUKLA; KUMAR, 2008).

Entre os cientistas desse período, destaca-se o professor da Instituição Real de Londres Sir Humphry Davy (1778-1829) que contribuiu de forma significativa para a Eletroquímica. Seus estudos eram fundamentais nas transformações químicas e elétricas geradas pelas cargas elétricas. As pesquisas realizadas sobre as propriedades das correntes elétricas deram suporte para a elaboração das leis de Ohm e Faraday (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013; OKI, 2000). Davy fez diversos ensaios baseados em técnicas eletroquímicas e tinha como objetivo isolar os

compostos de metais alcalinos. Para esse fim, colocou em contato com a corrente elétrica hidróxido de potássio sólido levemente umedecido e obteve glóbulos metálicos (STOCK, 1989). O resultado obtido por Davy evidenciou a existência de um novo elemento químico, o potássio.

Com o auxílio da eletrólise, Davy conseguiu identificar outros elementos químicos, sódio e cálcio e conseguiu isolar outros elementos, como magnésio, boro e bário. Com as evidências coletadas de novos elementos químicos, Davy chegou à conclusão que a eletricidade induzia a ação química (OKI, 2000).

Um dos outros colaboradores da Eletroquímica foi o químico sueco Jöns Jakob Berzelius (1779-1848). Nos seus estudos, identificou que os elementos que eram formados durante a eletrólise se acumulavam nos pólos das células (SHUKLA; KUMAR, 2008). Esse fato levou Berzelius a propor que os átomos que formavam um elemento eram carregados eletricamente e possuíam uma polaridade definida. Sugeriu também que a combinação química formadora de elementos se dava pela atração de átomos com cargas opostas (OKI, 2000; SHUKLA; KUMAR, 2008).

No século XIX, em 1820, o filósofo dinamarquês Hans Christian Ørsted (1777-1851) apontou que correntes elétricas podem gerar magnetismo (SHUKLA; KUMAR, 2008). Proposição que foi fundamental para o desenvolvimento do eletromagnetismo.

Com base no que foi proposto por Ørsted, o físico francês André-Marie Ampère (1775-1836) realizou experimentos envolvendo o efeito magnético da corrente elétrica. Os experimentos de Ampère permitiram a formulação matemática de suas constatações e contribuíram para a elaboração da lei de Ohm, que envolve tensão, corrente elétrica e resistência elétrica (BLONDEL; BENEGHIR, 2017; SHUKLA; KUMAR, 2008). Essa lei foi formulada por Georg Simon Ohm (1789-1854), físico alemão que teve grande importância para o entendimento de circuitos elétricos, e, consequentemente, para a Eletroquímica.

Entre os cientistas que tiveram importantes contribuições para a Eletroquímica, destaca-se o físico e químico britânico Michael Faraday (1791-1867). Os resultados obtidos por Faraday serviram de base para o desenvolvimento da teoria do campo

eletromagnético (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013). Seus estudos também propiciaram constatações importantes como a ideia de paramagnetismo e diamagnetismo

Faraday também relacionou as transformações químicas geradas por correntes elétricas com a quantidade de matéria decomposta e a quantidade de corrente elétrica necessária para promover as reações (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013; OKI, 2000). Esse cientista contribuiu para a Eletroquímica na formulação das duas leis da eletrólise, as quais trazem um aspecto quantitativo para os fenômenos eletroquímicos (SHUKLA; KUMAR, 2008).

A eletrólise trata-se um processo não espontâneo, no qual a transformação química é induzida pela aplicação de corrente elétrica ou potencial em uma célula eletroquímica. Em 1833, Faraday estabeleceu a relação entre a quantidade de corrente elétrica transportada durante a eletrólise e a massa dos produtos formados, o que é calculado pelas leis da eletrólise. A primeira lei diz que a massa de um produto formado na eletrólise é diretamente proporcional à quantidade de carga transportada. A segunda lei estabelece que um Faraday de carga envolve a passagem de 1 mol de elétrons pelo sistema, gerando a constante de Faraday ( $F = 96485,3399 \text{ C mol}^{-1}$ ), uma constante física fundamental que representa a carga molar elementar. Esse cientista também é conhecido por ter popularizado os termos ânodo, cátodo, eletrólito, eletrodo e íon, que são essenciais na Eletroquímica (CARVALHO; CALDAS; FACCIN, 2013; SHUKLA; KUMAR, 2008).

### **1.2.2 Relação da Eletroquímica com a Eletricidade e a Termodinâmica Química**

A Eletroquímica é uma ciência interdisciplinar que trata das transformações químicas produzidas por correntes elétricas e com a produção de tais correntes a partir da transformação de substâncias químicas. (NAGY, 2008). Assim, um bom LD deve apresentar a definição de Eletroquímica.

Já foi discutido que os conceitos de eletricidade e Termodinâmica Química são fundamentais no ensino de Eletroquímica e dessa maneira acredita-se que seja essencial que um bom LD defina adequadamente a relação entre conceitos elétricos e termodinâmicos e a Eletroquímica, a fim de contribuir na compreensão dos

estudantes acerca dos conceitos estruturantes dessa área da química. Para que o LD consiga fazer essa relação, é recomendado que haja a recapitulação e a fundamentação desses conceitos estruturantes para que o leitor compreenda de que maneira conceitos elétricos e termodinâmicos estão relacionados com a Eletroquímica (FREITAS, 2021).

Assim sendo, o LD deve apresentar uma fundamentação entre o conceito de espontaneidade e potencial elétrico, já que são tópicos importantes para o desenvolvimento da Eletroquímica (FREITAS, 2021). A espontaneidade dos processos eletroquímicos está relacionada com a variação da energia livre de Gibbs, pois, em condições de pressão (P) e temperatura (T) constantes, haverá um processo espontâneo e a variação da energia de Gibbs do sistema é menor que zero,  $\Delta G_{\text{sist.}} < 0$ . Quando consideradas as cargas elétricas, essa função, que se trata de uma propriedade intensiva de um determinado componente do sistema, é chamada de potencial químico ( $\mu$ ) (SANTOS, 2016). Desse modo, o potencial eletroquímico ( $\bar{\mu}_i$ ) é de extrema importância para a determinação da espontaneidade de processos Eletroquímicos, já que a espontaneidade das reações Eletroquímicas pode ser expressa como:  $\Delta_r G^\sim < 0$ .

A energia livre de Gibbs possui duas funções importantes que devem ser discutidas em um bom LD. A primeira função, discutida acima, se refere à definição qualitativa da energia de Gibbs que diz respeito ao critério de espontaneidade. A segunda função, trata-se de uma definição quantitativa, relacionando a energia de Gibbs com as propriedades elétricas do sistema, isto é, ao trabalho elétrico máximo ( $w_e$ ) galgado no sistema (PACZEŚNIAK *et al.*, 2018; ZYTKUEWISZ, 2018).

Quando a energia livre de Gibbs ( $\Delta G = w_e$ ) se relaciona com conceitos elétricos, podemos obter a seguinte relação  $\Delta G = -nF\Delta E$  (1). Ressaltando que  $w_e$  é obtido através do produto da carga elétrica (q) e a diferença de potencial (SANTOS, 2016). A relação obtida entre a energia livre de Gibbs e o trabalho elétrico, gera a equação de Nernst (8):  $\Delta G = -nFE^\circ_{\text{cell}}$  (2)

$$\Delta G = -RT \ln Q \quad (3)$$

$$E = -\frac{\Delta G}{nF} \quad (4)$$

$$\therefore E = -\frac{\Delta G^\circ}{nF} \quad (5)$$

$$\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln Q \quad (6)$$

$$-nF\Delta E = -nF\Delta E^\circ + RT \ln Q \quad (7)$$

$$\Delta E = \Delta E^\circ - \frac{RT}{nF} \ln Q \quad (8)$$

Além dessas relações entre a termodinâmica e a eletricidade, o LD precisa apresentar uma discussão sobre os parâmetros termodinâmicos envolvidos nos sinais dos cálculos matemáticos da ddp da célula. A equação de Nersnt demonstra a relação entre a ddp da célula e os parâmetros termodinâmicos envolvidos, ou seja, a entropia do Universo. De modo que quando a ddp calculada é positiva, a energia livre da reação será negativa e consequentemente, haverá um aumento na entropia do Universo o que resultará num sistema que evolui de forma espontânea (ZYTKUEWISZ, 2018). Outro fator que influencia no valor da ddp é a concentração das espécies químicas envolvidas no sistema.

Embora a concentração das espécies químicas tenha influência no valor da ddp, o potencial da célula eletroquímica não deve ser influenciado pelos coeficientes estequiométricos que são adotados no balanceamento de cargas. De modo que é importante ressaltar que o potencial se trata da quantidade de energia normalizada pela quantidade de carga que passa pelo sistema. Assim sendo, a multiplicação não ocorre devido à normalização da ddp (BALL, 2014).

### 1.3 Células Eletroquímicas

O termo célula eletroquímica refere-se aos sistemas envolvendo a transferência de elétrons em reações químicas (SANTOS, 2016). Reações desse tipo são chamadas de reações de oxirredução ou reações redox. A transferência de elétrons no sistema ocorre de duas maneiras, espontânea ou não espontânea, diferenciando assim células galvânicas e eletrolíticas. Reações espontâneas ocorrem em células

galvânicas e reações não espontâneas ocorrem em células eletrolíticas (BALL, 2014). Desse modo, um bom LD deve apresentar a diferença e a característica de cada uma.

A célula galvânica ou voltaica está associada com a espontaneidade de um processo. As reações ocorrem devido à diferença de potencial eletroquímico dos elétrons que se estabelecem entre o cátodo e o ânodo. Em sistemas como esse, a transferência de elétrons entre cátodo e ânodo se converte em energia elétrica sem a necessidade da aplicação de corrente elétrica. Em células galvânicas, a transferência de elétrons ocorre do ânodo para o cátodo (SANTOS, 2016)

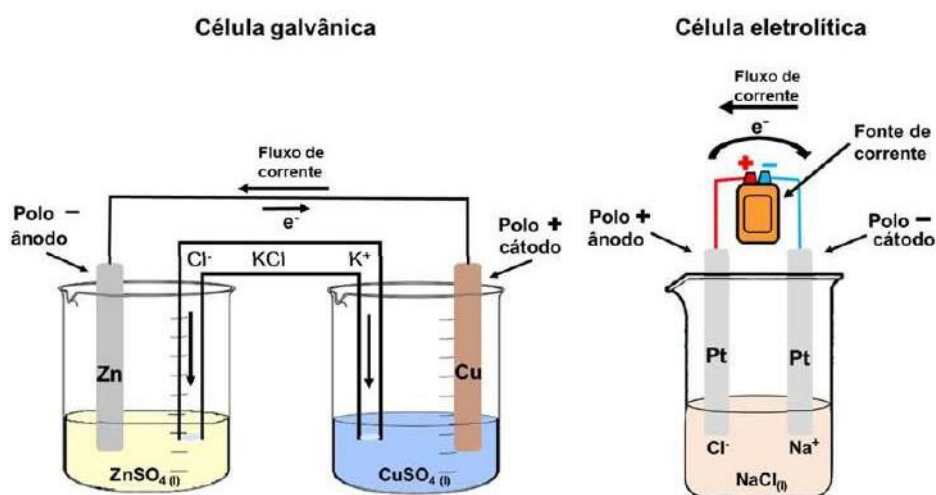
Em células eletrolíticas, os processos não ocorrem espontaneamente. Para que as reações ocorram, é necessária a aplicação de uma corrente elétrica proveniente de uma fonte externa de energia, como uma bateria. Assim, a aplicação de uma diferença de potencial propicia a transferência de elétrons. Em células eletroquímicas, a transferência de elétrons sempre ocorre do ânodo para o cátodo, de modo que apenas o sinal dos polos é invertido. (SANTOS, 2016).

As células eletroquímicas são divididas em dois compartimentos, o compartimento da esquerda e o compartimento da direita. No compartimento da esquerda ocorre o processo de dissolução da placa metálica, como na pilha de Daniell, de modo que ocorre majoritariamente a oxidação. Já no compartimento da direita, ocorre a deposição do metal na superfície do eletrodo e a reação majoritária é a redução (ZYTKUEWISZ, 2018). Cada um dos compartimentos possui uma solução na qual os eletrodos estão imersos e servem como pares redox (IUPAC, 2006).

Além dos termos compartimento da esquerda e da direita, existem também os termos cátodo e ânodo que se referem a reação majoritária que ocorrerá em cada compartimento. Entretanto, no livro verde de IUPAC (2006), esta nomenclatura somente é aplicada quando a célula eletroquímica se encontra em funcionamento, caso contrário, não há cátodo e ânodo, pois não há passagem de corrente elétrica entre os terminais da célula (ZYTKUEWISZ, 2018). Ao sair do equilíbrio, a transferência de elétrons começa a ocorrer e dessa forma a célula começará a ter em seus compartimentos suas reações majoritárias de oxidação e redução e gerando assim o que chamamos de ânodo e cátodo.

O ânodo é o eletrodo no qual ocorre majoritariamente a reação de oxidação. O cátodo é o eletrodo no qual ocorre majoritariamente a reação de redução. Em células galvânicas, os elétrons são produzidos no ânodo e em células eletrolíticas, os elétrons são extraídos do ânodo. O catodo é o eletrodo que consome os elétrons do ânodo e estes fluem através do circuito externo (IUPAC, 2006). Contudo, a principal diferença com relação aos eletrodos em células galvânicas e eletrolíticas se refere ao sinal dos polos. Essa informação está representada na Figura 1.

**Figura 1:** Representação da célula galvânica e célula eletrolítica, respectivamente.



**Fonte:** Freitas (2021, p. 96).

Como demonstrado na Figura 1, na célula galvânica como em uma pilha de Daniell, no compartimento da esquerda encontra-se uma placa de zinco metálico em solução de  $\text{ZnSO}_4$  que irá sofrer a reação de oxidação. E no compartimento da direita, encontra-se a placa de cobre metálico em solução de  $\text{CuSO}_4$ , sendo que o Cu irá sofrer a reação de redução (BALL, 2014).

As células eletroquímicas também são constituídas pela ponte salina que se encontra entre os compartimentos da esquerda e da direita, permitindo a passagem de íons entre eles. A função principal da ponte salina é evitar o acúmulo de íons nos compartimentos e também, a polarização dos eletrodos (ZYTEKUEWISZ, 2018). Essa polarização ocorre devido à transferência de íons entre os compartimentos, o que gera o balanceamento das cargas positivas e negativas. A grande problemática acerca da polarização do eletrodo é o impedimento do funcionamento do sistema

(ZYTKUEWISZ, 2018). A ponte salina é constituída de uma membrana semipermeável, a qual permite a passagem de íons nela presentes para a solução, porém a membrana impede que as duas soluções presentes nos compartimentos se misturem.

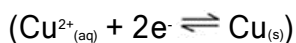
Eletrólito é uma substância que, quando dissolvida em um solvente, produz uma solução que apresenta condutividade elétrica maior que a condutividade elétrica do solvente, ou seja, é uma substância que produz íons em solução (AGOSTINHO *et al.*, 2004). São considerados eletrólitos, os sólidos iônicos solúveis em água. Ácidos, bases e sais podem ser utilizados como eletrólito. Em células eletroquímicas, o eletrólito é escolhido de acordo com sua estabilidade eletroquímica, isto é, o eletrólito não pode sofrer nem oxidação e nem redução na faixa de potencial de interesse (AGOSTINHO *et al.*, 2004).

Em células eletroquímicas que se encontram em equilíbrio termodinâmico, ocorrerá a transferência de pequenas quantidades de carga entre a interface do eletrodo com a sua solução. Essa transferência de carga entre metal/solução leva ao aparecimento da ddp (BIRSS; TRUAX, 1990). No caso da pilha de Daniell, quando a célula se encontra em equilíbrio, a reação redox entre zinco e cobre não ocorre, porém nos compartimentos entre as placas e as soluções, ocorrerá um equilíbrio redox:

Compartimento da esquerda,

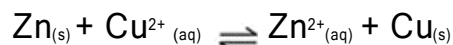


Compartimento da direita,



Quando o sistema se encontra em funcionamento novamente, ocorre a reação de redução do cobre no compartimento da esquerda e oxidação do zinco no compartimento da direita. Os termos ânodo e cátodo são utilizados quando nas células eletroquímicas ocorre a passagem de uma corrente líquida (IUPAC, 2006). Para que as reações redox ocorram, os dois processos, oxidação e redução, devem acontecer simultaneamente.

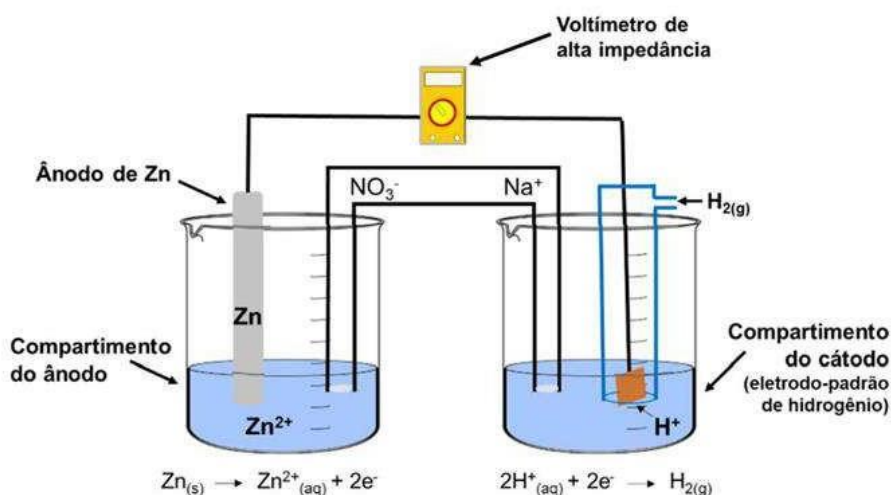
Quando a célula estiver em funcionamento, a reação redox ocorrerá entre os compartimentos, de modo que no ânodo ocorre a oxidação e no cátodo ocorrerá a redução:



Entre os termos mais utilizados na eletroquímica, destaca-se o potencial de redução. O termo potencial de redução começou a ser utilizado no ano de 1953, após um acordo internacional ter sido feito em virtude das diferenças das convenções de sinais americana e europeia (STOCK, 1989). Entretanto, a lista de potenciais padrão elaborada por Gilbert Lewis Lewis (1875-1946), em 1907, teve como referência um eletrodo padrão de hidrogênio. Embora o termo potencial de redução padrão ainda ser utilizado, o valor do potencial padrão não é definido pela direção da reação, isso se deve ao fato dos valores de  $E^0$  serem medidos com a reação em equilíbrio, e nesse caso, o eletrodo utilizado como referência é o eletrodo padrão de hidrogênio (BIRSS; TRUAX, 1990; STOCK, 1989). A medida do potencial a partir do eletrodo padrão de hidrogênio está esquematizado na Figura 2.

**Figura 2:** Representação da medição do eletrodo utilizando o eletrodo de hidrogênio como referência

**Medição do eletrodo utilizando o eletrodo de hidrogênio como referência**



**Fonte:** FREITAS (2021, p. 94).

O termo potencial de redução é utilizado em muitos LD e aceito internacionalmente mas, apesar disso, acredita-se que é um termo que pode causar

problemas de entendimento dos alunos (BIRSS; TRUAX, 1990). Assim sendo, o termo potencial de redução pode ser substituído por potencial de eletrodo, potencial de equilíbrio, ou ainda, potencial redox. Isso se deve ao fato de “potencial de redução” se referir à ddp existente entre a reação de redução e oxidação de qualquer espécie química, formando assim um par redox (FREITAS, 2021).

Isso posto, destaca-se a complexidade de conceitos eletroquímicos e a relevância da definição apropriada deles para a aprendizagem satisfatória da Eletroquímica, sendo destacados quais os principais conceitos dessa área. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é realizar a análise do conteúdo de Eletroquímica de um LD do ES utilizando como instrumento de análise um *checklist* de Eletroquímica que permite que seja avaliada a adequação do material com relação ao seu rigor conceitual.

A seguir, são apresentados os procedimentos metodológicos da análise do LD, assim como a escolha do LD utilizado como objeto de pesquisa e a discussão dos resultados obtidos a partir do preenchimento do *checklist*.

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 2.1 Pesquisa Qualitativa do tipo documental

De acordo com o desenho de pesquisa definido por Flick (2009), esta pesquisa trata-se de uma pesquisa de caráter qualitativo e do tipo documental. A pesquisa qualitativa não requer uso de métodos e/ou técnicas estatísticas, de modo que não é necessária a aplicação de tratamentos estatísticos para a realização da análise dos dados obtidos (KAUARK; MANHÃES; MEDEIROS, 2010). Os resultados de uma pesquisa qualitativa são apresentados de maneira descritiva, de tal maneira que os seus dados são analisados com embasamento em uma literatura específica e em um referencial teórico. Assim sendo, segundo Mól (2017), a pesquisa qualitativa é utilizada para a compreensão de significados dados a fenômenos da ciência através de reflexões.

Tratando-se de uma pesquisa documental, o pesquisador não tem contato direto com o sujeito, mas sim com documentos produzidos por ou sobre esses sujeitos (MÓL, 2017). O mesmo trabalho pode ter diferentes interpretações dependendo de qual teoria está sendo usada como referência pelo pesquisador, sendo possível atribuir novas interpretações e resultados (FREITAS, 2021). No trabalho aqui proposto, avaliou-se um LD utilizado para o ensino de Eletroquímica no ES com a utilização do *checklist* desenvolvido por Freitas (2021).

### 2.2 Checklist

A palavra *checklist* é de origem inglesa e significa “lista de verificações”. O *checklist* é um instrumento de controle composto por um conjunto de condutas, itens, nomes ou tarefas que devem ser estudadas ou avaliadas (FREITAS, 2021). Portanto, o *checklist* trata-se de uma lista de verificações que pode ser utilizada para diferentes finalidades e para tal feito, deve apresentar critérios devidamente definidos. A função desse instrumento é auxiliar o avaliador a respeito de quais critérios são fundamentais para serem avaliados a fim de garantir a objetividade e reprodutibilidade da avaliação (FREITAS, 2021).

Freitas (2021) desenvolveu sua pesquisa baseada no trabalho de Leite (2002), que desenvolveu um *checklist* como método de análise para a história da ciência em

LD. Leite (2002) buscou elaborar um instrumento de análise que fosse eficaz para avaliar a história da ciência nos LD que são utilizados para o ensino de ciências. Para a formulação de seu *checklist*, Leite (2002) realizou um levantamento bibliográfico a respeito da história da ciência, de modo que as questões e itens coletados foram posteriormente utilizados no desenvolvimento do *checklist*.

Ainda de acordo com Leite (2002), o *checklist* é um instrumento apropriado para auxiliar o avaliador a realizar uma análise de maneira qualitativa, já especifica os itens que deverão ser procurados durante a análise do objeto. O método também pode ser utilizado de maneira quantitativa, sendo necessárias algumas alterações.

O *checklist* desenvolvido por Leite (2002) foi formulado para a avaliação de livros de física do EM. Quando julgou necessário, a autora fez ajustes nos critérios de análise de modo a torná-los autoexplicativos. Para a verificação e utilização do *checklist* na avaliação dos LD do EM, a autora teve que validar o instrumento. A sua validação permitiu que o instrumento garantisse uma análise confiável e eficiente do conteúdo desejado. A validação ocorreu em três etapas, sendo elas: a escolha dos livros e a entrega aos avaliadores; a análise e o preenchimento do *checklist*; e por fim a análise dos *checklist* preenchidos e as considerações finais de avaliação.

O *checklist* de Eletroquímica proposto e validado por Freitas (2002) necessitou de algumas adaptações referentes ao conteúdo de interesse, as questões presentes foram reformuladas para conseguirem abranger os conteúdos estruturantes presentes no LD.

### **2.2.2 Desenvolvimento do *checklist* de Eletroquímica**

Diferente do *checklist* de Leite (2002), o *checklist* proposto por Freitas (2021) conta com o acompanhamento de um Guia para preenchimento do instrumento de análise. Isso se deve à complexidade dos conteúdos de Eletroquímica e tem como função ser uma ferramenta norteadora do *checklist*, contando com as mesmas categorias presente nele.

Para o desenvolvimento dos critérios a serem analisados, Freitas (2021) se baseou nas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química (BRASIL,

2001) e na Resolução CNE/CES 8, de 11 de março de 2002 (BRASIL, 2002) para definir quais os conceitos presentes nos cursos de Química relevantes de serem analisados nos LD.

As Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química definem que os alunos devem ter conhecimento acerca das propriedades físico-químicas das substâncias e materiais; estrutura atômica e molecular; análise química; Termodinâmica Química; cinética química; compostos orgânicos; organometálicos; compostos de coordenação; macromoléculas e biomoléculas e técnicas básicas de laboratório (FREITAS, 2021). Ainda de acordo com as Diretrizes, fica a critério de cada instituição de ES os conhecimentos específicos nos cursos de Química.

O desenvolvimento do *checklist* teve início com a revisão da literatura para identificação dos conceitos estruturantes da Eletroquímica. O estudo dos conceitos foi feito utilizando o livro de Físico-Química de Ball (2014) e com a ajuda de um professor especialista na área foi feita a explicação detalhada dos conceitos no momento da leitura (FREITAS, 2021). Foram feitas discussões a respeito de como esses conceitos deveriam ser abordados em LD e comparada a maneira como eles se apresentavam no livro de referência de Ball (2014). As questões feitas para a elaboração do método de análise apresentam caráter qualitativo, pois o *checklist* avalia a qualidade do conteúdo de Termodinâmica Eletroquímica presente nos LD do ES, buscando identificar apenas a qualidade não a quantidade de conteúdo (FREITAS, 2021).

Após a elaboração das questões, elas foram divididas em 8 categorias, contando com 2 seções. A primeira seção contém os conceitos estruturantes de Eletroquímica e a segunda seção diz respeito aos conhecimentos complementares e de suporte da Eletroquímica (FREITAS, 2021). Existem três classificações das questões e seus itens definidos como: adequado, necessita de revisão e não abordado. A classificação adequada refere-se ao item cujo conceito esteja abordado de maneira satisfatória no LD, que não apresente erros conceituais e esteja contextualizado de maneira adequada. A classificação necessita de revisão é aplicada quando o conteúdo presente no LD contém pequenos equívocos ou erros conceituais acerca de um tema. E por fim, a classificação não abordada é aplicada quando as obras não apresentam os conceitos presentes no *checklist* (FREITAS, 2021).

A primeira seção do *checklist* contém os conteúdos estruturantes de Eletroquímica. A primeira categoria desta seção é destinada à contextualização histórica da eletricidade e da Eletroquímica. Apresentar a historicidade dos conceitos de eletricidade é fundamental já que estes antecedem até mesmo a Eletroquímica e são uma importante base para a aprendizagem dessa área do conhecimento, assim sendo, ao trazer uma contextualização histórica, o LD apresenta a importância de resgatar os conhecimentos da eletrostática e eletrodinâmica (FREITAS, 2021).

A segunda e terceira categoria tratam-se dos conceitos fundamentais da Química Geral para a Eletroquímica e relação da eletricidade e Eletroquímica com a Termodinâmica Química, respectivamente. Alguns dos conceitos presentes na Química Geral e na Termodinâmica Química são estruturantes para a Eletroquímica e podem ser encontrados no *checklist*, como, por exemplo, carga formal, número de oxidação (Nox), conceito de oxidação e redução, reações redox, balanceamento de carga, balanceamento redox, espontaneidade e o potencial eletroquímico. É importante que o LD apresente de forma introdutória a definição adequada desses conceitos (FREITAS, 2021).

A quarta categoria se atenta especialmente às células eletroquímicas e nessa parte do *checklist* são abordados os aspectos específicos e questões acerca de pontos essenciais que um bom LD deve apresentar corretamente sobre as células eletroquímicas (FREITAS, 2021). É necessário que o LD apresente o que é uma célula eletroquímica e as esfericidades das duas células existentes, a galvânica e a eletrolítica.

As duas últimas categorias nessa seção são a respeito das terminologias da Eletroquímica e das ilustrações presentes nos LD. Essas categorias visam avaliar de que maneira as terminologias e ilustrações referentes ao conteúdo de Eletroquímica podem aparecer de maneira inadequada nos LD utilizados (FREITAS, 2021). Ambos devem ser apresentados de maneira adequada para que não comprometa o entendimento do conteúdo de Eletroquímica, visto que, em especial as ilustrações, são fundamentais na aprendizagem de determinados conceitos.

Por fim, a segunda seção do *checklist* apresenta a sétima e oitava categoria, que são os conceitos complementares e de suporte para o ensino de Eletroquímica, sendo eles da eletricidade e Termodinâmica Química. Nessa seção, são apresentados conceitos considerados a base para o desenvolvimento conceitual da Eletroquímica, como, por exemplo, carga elétrica, força elétrica, campo elétrico, potencial elétrico, diferença de potencial elétrico (ddp), trabalho elétrico, corrente elétrica, espontaneidade, entropia, entalpia, energia de Gibbs, potencial eletroquímico, entre outros.

O *checklist* de Eletroquímica apresenta caráter qualitativo, e segundo Leite (2002), um *checklist* qualitativo pode ser útil em um contexto de pesquisa e de formação de professores. Dessa forma, o *checklist* desenvolvido por Freitas (2021) tem o intuito de contribuir para que o docente faça uma boa escolha de LD contendo conteúdos eletroquímicos corretos e coerentes.

Freitas (2021) em seu trabalho realiza um levantamento a respeito de quais os LD de Eletroquímica mais utilizados pelos docentes no estado de São Paulo em universidades públicas. Para a validação de seu *checklist*, a autora com o apoio de professores especialistas na área que realizaram a análise dos dois primeiros LD presentes em sua pesquisa.

Isso posto, a partir da tabela de LD organizada por Freitas (2021), para o presente trabalho foi escolhido o livro *Fundamentos de Físico-Química* de Gilbert Castellan que se encontra entre os 10 materiais mais utilizados por docentes de Eletroquímica em suas aulas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a escolha do livro *Fundamentos de Físico-Química* de Gilbert Castellan, foi feita a análise do conteúdo de Eletroquímica presente no material com a utilização do *checklist* de Eletroquímica desenvolvido por Freitas (2021). Cada categoria de análise foi devidamente discutida e algumas figuras dos trechos do LD foram apresentadas para justificar o preenchimento do *checklist*.

#### **Checklist de Eletroquímica**

| <b>Dados do Livro Didático</b>                       |                     |                   |
|------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|
| <b>Título da obra: Fundamentos de Físico-Química</b> |                     |                   |
| <b>Autor: Gilbert Castellan</b>                      |                     |                   |
| <b>Editora: LTC – Livros Técnicos e Científicos</b>  | <b>Volume: 1</b>    | <b>Edição: 14</b> |
| <b>Capítulos: 18</b>                                 | <b>Páginas: 530</b> |                   |

#### **Primeira seção – Conceitos fundamentais da Eletroquímica**

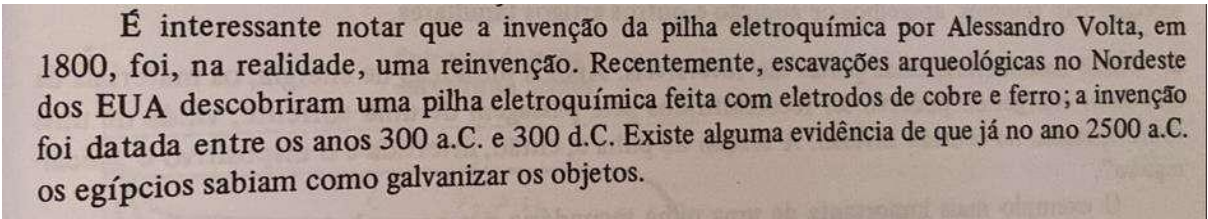
**Quadro 1:** Contextualização histórica da Eletroquímica.

| <b>Questões</b>                                                                                                                                                                            | <b>Adequado</b> | <b>Necessita revisão</b> | <b>Não abordado</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------|---------------------|
| O livro didático traz uma contextualização histórica sobre o desenvolvimento dos conceitos da eletricidade?                                                                                |                 | X                        |                     |
| O livro didático apresenta uma introdução e/ou contextualização histórica do desenvolvimento da Eletroquímica e dos principais cientistas que contribuíram para o início da Eletroquímica? |                 |                          | X                   |
| Luigi Galvani;                                                                                                                                                                             |                 |                          | X                   |
| Alessandro Volta;                                                                                                                                                                          |                 | X                        |                     |
| Humphry Davy;                                                                                                                                                                              |                 |                          | X                   |
| Michael Faraday.                                                                                                                                                                           |                 |                          | X                   |

Nessa primeira categoria, foi analisada a contextualização da história da Eletroquímica presente no LD. Não foi observado no livro uma discussão sobre a história da Eletroquímica e sobre conceitos de eletricidade que a precedem. Foi encontrada no livro apenas uma menção a um dos principais cientistas que contribuíram para o desenvolvimento da Eletroquímica, sendo este Alessandro Volta.

No trecho destacado na Figura 3, o autor aponta Volta como um dos inventores da pilha eletroquímica, porém destaca que seu experimento foi na verdade uma reinvenção de experimentos realizados centenas de anos antes por civilizações antigas, como, por exemplo, os egípcios.

**Figura 3:** Discussão do autor acerca da invenção das pilhas eletroquímicas.



É interessante notar que a invenção da pilha eletroquímica por Alessandro Volta, em 1800, foi, na realidade, uma reinvenção. Recentemente, escavações arqueológicas no Nordeste dos EUA descobriram uma pilha eletroquímica feita com eletrodos de cobre e ferro; a invenção foi datada entre os anos 300 a.C. e 300 d.C. Existe alguma evidência de que já no ano 2500 a.C. os egípcios sabiam como galvanizar os objetos.

**Fonte:** CASTELLAN, 2008, p. 427.

O trabalho do autor nessa categoria foi analisado como “necessita revisão”, pois o LD apesar de fazer menção à Volta, não discute seu experimento e não traz ao aluno a importância de resgatar conhecimentos sobre eletricidade e eletrodinâmica para o aprendizado de Eletroquímica. De modo que seria importante o resgate do autor dos nomes fundamentais para o desenvolvimento da eletricidade que deu origem posteriormente às pilhas eletroquímicas para que os alunos pudessem entender a interdisciplinaridade da Eletroquímica e de que modo ela foi criada.

No entanto, um ponto a ser destacado no trecho recortado do LD, é que o autor discute que as pilhas eletroquímicas não foram produto da criação de apenas um cientista, já que o autor aponta Volta como um dos pioneiros no desenvolvimento das pilhas, mas também aponta para os primórdios do contato do homem com fenômenos elétricos. Isso se faz relevante, visto que um dos objetivos da contextualização histórica é mostrar aos alunos que a ciência é produto do trabalho de diversos cientistas ao longo da história e desmistificar a visão equivocada de que os conteúdos científicos são mérito apenas de um pesquisador isolado.

**Quadro 2:** Conceitos Fundamentais da Química Geral para a Eletroquímica.

| Questões                                                                                | Adequado | Necessita revisão | Não abordado |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------|--------------|
| O livro didático aborda conceitos essenciais da química para o ensino da Eletroquímica? |          | X                 |              |
| Carga Formal                                                                            |          |                   | X            |
| Oxidação;                                                                               | X        |                   |              |
| Redução;                                                                                | X        |                   |              |
| Número de Oxidação (Nox);                                                               |          |                   | X            |
| Reação Redox;                                                                           | X        |                   |              |
| Balanceamento redox;                                                                    |          |                   | X            |
| Balanceamento de carga                                                                  |          | X                 |              |

O primeiro capítulo do LD é intitulado “Alguns Conceitos Químicos Fundamentais”, pode ser observado na Figura 4, e traz a definição de conceitos introdutórios, tais como, tipos de matérias e substâncias, massa atômica e molar, equações químicas e SI. Esses são alguns dos conceitos básicos de Química Geral que dão embasamento para todas as áreas abordadas pela química. Uma observação relevante é que o LD escolhido trata-se de princípios fundamentais de todas as áreas da Físico-Química, não sendo um livro que traz apenas o conteúdo de Eletroquímica.

**Figura 4:** Conceitos Fundamentais de Química Geral.

|          |                                               |          |
|----------|-----------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Alguns Conceitos Químicos Fundamentais</b> | <b>1</b> |
| 1.1      | Introdução                                    | 1        |
| 1.2      | Os tipos de matéria                           | 1        |
| 1.3      | Os tipos de substâncias                       | 1        |
| 1.4      | Massas atômica e molar                        | 2        |
| 1.5      | Símbolos e fórmulas                           | 3        |
| 1.6      | O mol                                         | 4        |
| 1.7      | Equações químicas                             | 4        |
| 1.8      | O Sistema Internacional de Unidades – SI      | 7        |

Fonte: CASTELLAN, 2008, p. 1.

Dessa forma, os conteúdos introdutórios discutidos neste capítulo não são específicos de Eletroquímica de modo como é esperado e analisado no *checklist*. Entretanto, pode-se destacar a importância de se definir esses conceitos já que como discutido anteriormente, eles são base para todas as áreas da química e dessa forma, devem estar bem esclarecidos para docentes e discentes.

Foi observado que alguns dos conceitos estruturantes de Eletroquímica, tais como oxidação, redução e reação redox, foram explicados devidamente no capítulo referente às pilhas eletroquímicas. Não foram encontrados erros conceituais ou afirmações equivocadas a respeito das reações químicas que ocorrem em células eletroquímicas.

**Quadro 3:** Relação da Eletroquímica com a Eletricidade e a Termodinâmica Química.

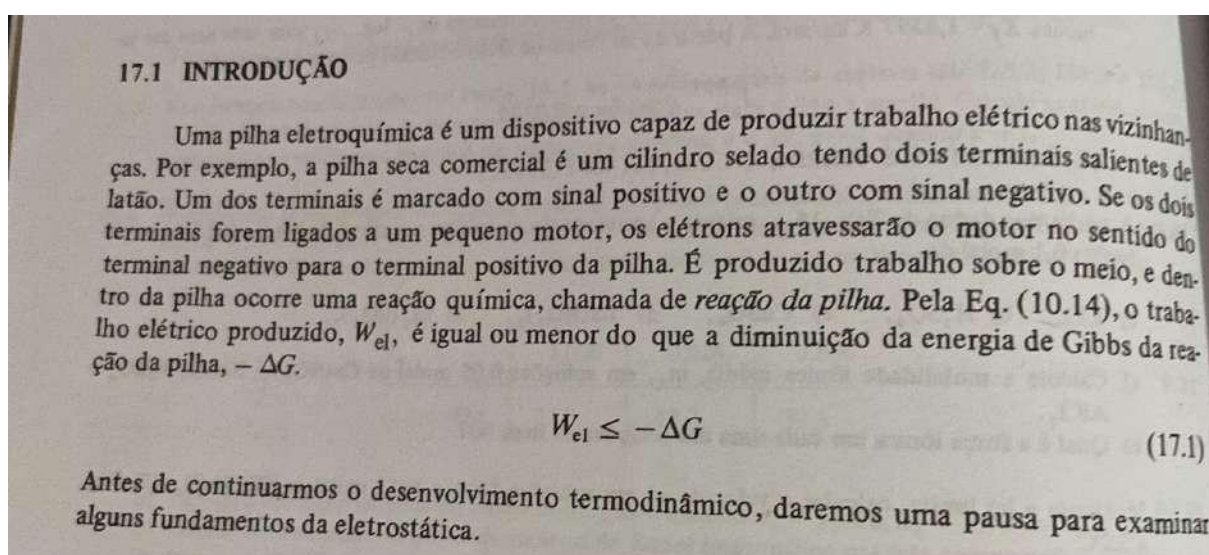
| Questões                                                                                                                                                                                                                                                         | Adequado | Necessita revisão | Não abordado |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------|--------------|
| O livro didático define o que é Eletroquímica?                                                                                                                                                                                                                   |          |                   | X            |
| O livro didático mostra a importância da compreensão dos fenômenos elétricos e termodinâmicos para a compreensão dos fenômenos eletroquímicos?                                                                                                                   | X        |                   |              |
| O livro estabelece as relações fundamentais entre as grandezas elétricas e as termodinâmicas:                                                                                                                                                                    |          |                   |              |
| Existe uma fundamentação entre o critério de espontaneidade e o potencial eletroquímico;                                                                                                                                                                         | X        |                   |              |
| O livro texto discute os dois papéis principais da energia de Gibbs ( $\Delta G$ ), ou seja, a definição qualitativa que é referente a espontaneidade e a definição quantitativa que se refere ao trabalho elétrico ( $w_e$ ) máximo que pode galgar do sistema; | X        |                   |              |
| O livro apresenta a relação dos conceitos de termodinâmica ( $\Delta G = w_e$ ) com os conceitos elétricos ( $\Delta E = \frac{-w_e}{q}$ ), escritos na forma $\Delta G = -nF\Delta E$ ;                                                                         | X        |                   |              |

|                                                                                                                                                                                   |  |   |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---|--|
| O livro se baseia na termodinâmica para explicar o sinal do cálculo matemático da ddp da célula;                                                                                  |  | X |  |
| O LD explica o porquê de o potencial da célula não ser multiplicado pelos mesmos fatores que corrigem os coeficientes estequiométricos utilizados para o balanceamento de cargas. |  | X |  |

A terceira categoria do *checklist* visa analisar de que maneira o LD estabelece a relação entre a Eletroquímica com a Termodinâmica Química e a eletricidade, de modo a explicitar a associação dessas áreas para a compreensão da Eletroquímica.

O LD não apresenta uma definição de Eletroquímica, de modo que no capítulo correspondente às pilhas eletroquímicas, o autor inicia a discussão já com uma explicação do que é uma pilha e quais as suas funcionalidades. A seguir, define conceitos pertencentes à eletrostática, explicitando a necessidade do aprendizado desses conteúdos antes de discutir de fato sobre pilhas e conceitos da Eletroquímica, o que é mostrado na Figura 5.

**Figura 5:** Introdução às pilhas eletroquímicas.



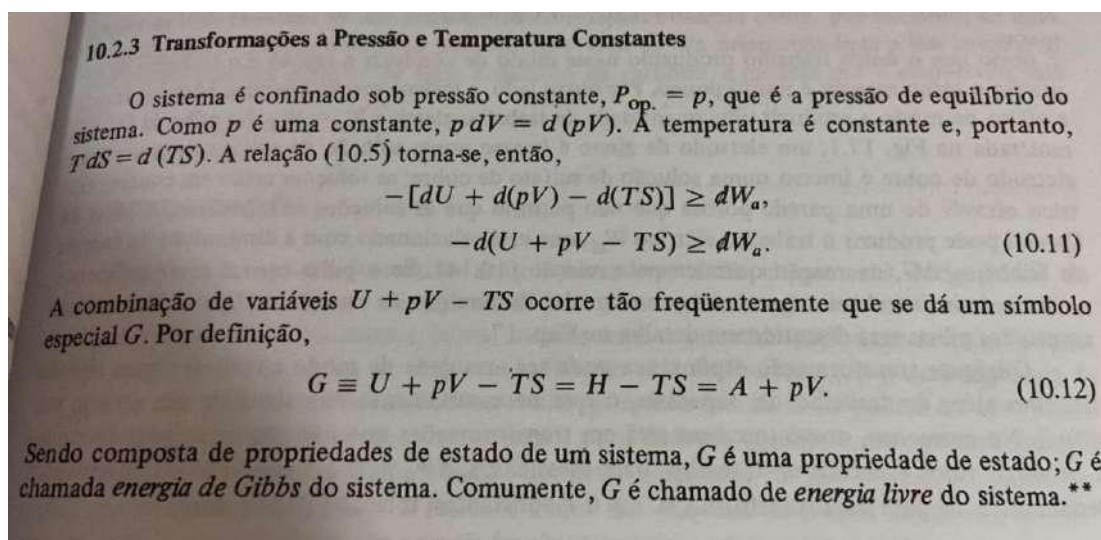
**Fonte:** CASTELLAN, 2008, p. 388.

Desse modo, é pertinente destacar o fato de o autor reafirmar para o aluno que a Eletroquímica é uma área que está interligada com outras e que é necessário que exista uma recapitulação de conceitos aprendidos na elétrica e que estes estejam

muito bem fundamentados, já que embasam o que irá ser estudado em Eletroquímica. Percebe-se que o autor estabelece as relações esperadas entre os conceitos termodinâmicos e elétricos por meio de definições matemáticas, por exemplo, da relação existente entre trabalho elétrico e energia de Gibbs, como é mostrado na Figura 5.

O LD apresenta um capítulo inteiramente dedicado à espontaneidade e equilíbrio, no qual é discutido sob quais condições uma reação será espontânea ou não. Para tal feito, o autor utiliza como embasamento a Termodinâmica Química, explicitando que, à pressão e temperatura constantes, é possível estabelecer a energia livre de Gibbs, que assim como as propriedades que a constitui, é uma função de estado. Essa relação é apresentada na Figura 6.

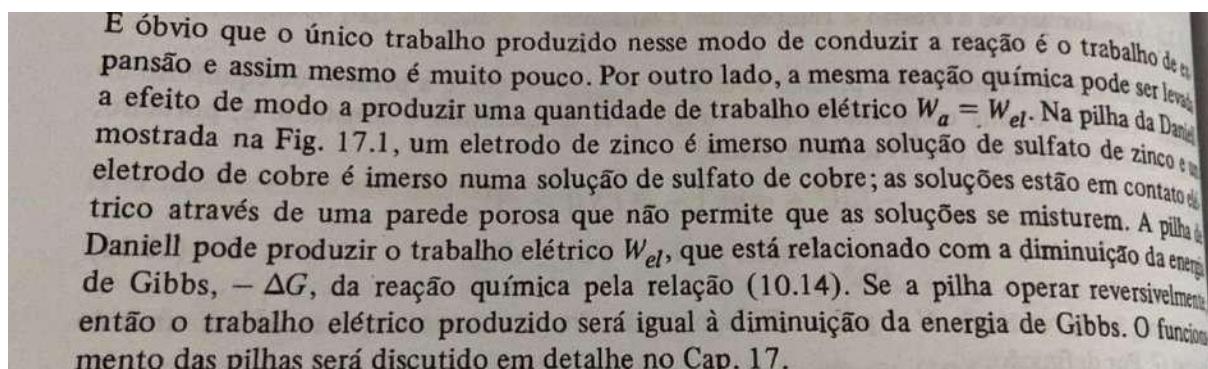
**Figura 6:** Definição da energia de Gibbs.



**Fonte:** CASTELLAN, 2008, p. 217.

A seguir, atendendo ao que era esperado no *checklist*, o autor apresenta a definição quantitativa da energia de Gibbs a associando ao trabalho elétrico de uma pilha. É discutido que em reações que ocorrem na pilha o  $w_a$  pode ser utilizado como  $w_{el}$ , já que em sistemas ocorrendo reações redox, o trabalho galgado no sistema é elétrico. Essa explicação feita pelo autor pode ser encontrada na Figura 7.

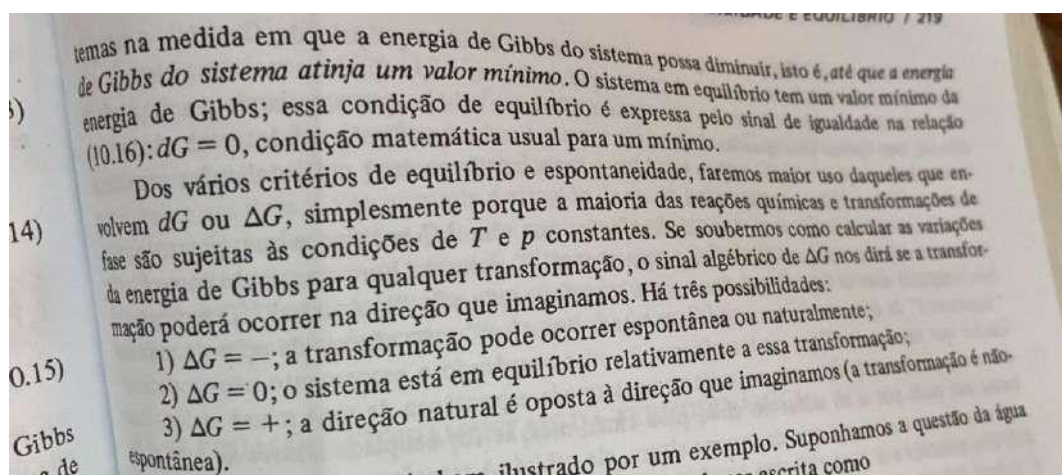
**Figura 7:** Relação entre a energia de Gibbs e o trabalho elétrico.



Fonte: CASTELLAN, 2008, p. 218.

A partir desta definição, o autor traz também o caráter qualitativo da energia de Gibbs, mostrando a sua relação com a espontaneidade das reações químicas. Ainda segundo o autor, essa relação é possível já que a maior parte das reações são feitas a pressão e temperatura constantes. Esse fato pode ser observado na Figura 8.

**Figura 8:** Relação entre a energia de Gibbs e a espontaneidade.



Fonte: CASTELLAN, 2008, p. 219.

Com relação à abordagem do LD acerca da ddp da célula, o autor relaciona essa grandeza com a energia de Gibbs e a espontaneidade (Figura 9). No entanto, essa opção foi marcada no *checklist* como “necessita revisão” visto que a notação utilizada para expressar a diferença de potencial do sistema foi “força eletromotriz” e este não é mais um termo utilizado de acordo com a IUPAC, o que se discute em seções posteriores.

**Figura 9:** Relação entre a energia de Gibbs e a ddp do sistema.

406 / FUNDAMENTOS DE FÍSICO-QUÍMICA

A espontaneidade de uma reação pode ser julgada pelo correspondente potencial da pilha. Mediante a Eq. (17.24), concluímos que, se  $\Delta G$  for negativo,  $\mathcal{E}$  será positivo. Portanto, tem-se o seguinte critério:

| $\Delta G$ | $\mathcal{E}$ | Reação da pilha |
|------------|---------------|-----------------|
| -          | +             | Espontânea      |
| +          | -             | Não-espontânea  |
| 0          | 0             | Em equilíbrio   |

Fonte: CASTELLAN, 2008, p. 406.

Por fim, o último conceito analisado nessa categoria do *checklist* é com relação ao potencial da célula e ao fato dele não ser multiplicado pelos mesmos fatores dos coeficientes estequiométricos utilizados para realizar o balanceamento das cargas. Assim, como destacado anteriormente, o LD utiliza-se do termo “força eletromotriz” e a análise feita foi que, apesar de explicado corretamente, o material necessitaria de revisão em virtude do termo utilizado para expressar a ddp. O conceito está explicado de maneira correta, porém necessita de revisão na notação utilizada.

Desse modo, o autor explicita o fato de a ddp ser uma propriedade intensiva do sistema, e não depender dos coeficientes escolhidos para balancear a equação química da pilha, visto que esse valor é corrigido pelo fato de  $-\Delta G$  ser dividido por  $n$ , ou seja, por cada elétron transferido. Essa relação pode ser observada na Figura 10.

**Figura 10:** ddp como uma propriedade intensiva do sistema.

Dessa maneira, a Eq. (17.23) torna-se

$$nF\mathcal{E}_{\text{rev}} = -\Delta G. \quad (17.24)$$

Vemos que a fem da pilha é proporcional a  $(-\Delta G/n)$ , que representa o decréscimo na energia de Gibbs da reação da pilha *por elétron transferido*. A fem da pilha é, portanto, uma propriedade *intensiva* do sistema; ela não depende do tamanho da pilha ou dos coeficientes escolhidos para balancear a equação química da reação da pilha.

Para evitar uma notação incômoda, iremos suprimir o índice rev no potencial da pilha; faremos isso com o entendimento de que a igualdade termodinâmica (diferentemente da desigualdade) é mantida somente para os potenciais reversíveis das pilhas (fems das pilhas).

Fonte: CASTELLAN, 2008, p. 405.

Assim sendo, o LD atende de maneira satisfatória o que era esperado no que diz respeito à relação existente entre a Eletroquímica com a Termodinâmica Química e a eletricidade.

**Quadro 4: Células Eletroquímicas.**

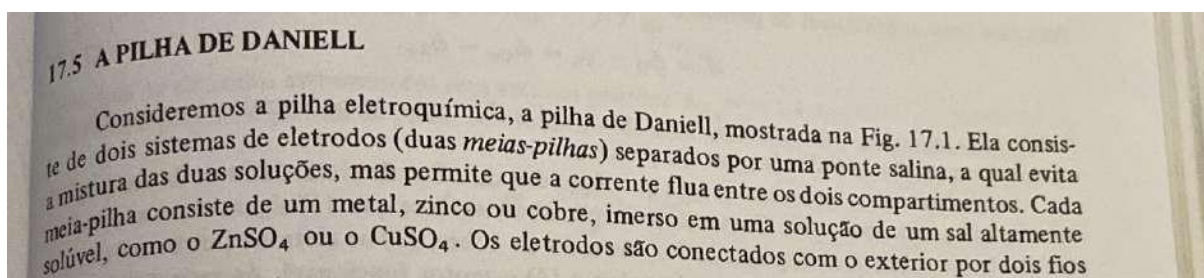
| <b>Questões</b>                                                                                                         | <b>Adequado</b> | <b>Necessita<br/>revisão</b> | <b>Não abordado</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------|
| O livro apresenta o conceito de células Eletroquímicas?                                                                 |                 | X                            |                     |
| O livro diferencia as células galvânicas e eletrolíticas?                                                               |                 |                              | X                   |
| No livro didático são apresentados corretamente os conceitos e elementos envolvidos nas células Eletroquímicas:         |                 |                              |                     |
| Compartimento anódico e catódico ou da esquerda e da direita;                                                           |                 | X                            |                     |
| Cátodo e ânodo.                                                                                                         | X               |                              |                     |
| Ponte salina;                                                                                                           | X               |                              |                     |
| Papel do eletrólito;                                                                                                    |                 | X                            |                     |
| Equação de Nemst;                                                                                                       | X               |                              |                     |
| O livro didático apresenta adequadamente o cálculo do potencial da célula feito pela subtração de Edireita - Eesquerda; |                 | X                            |                     |
| No livro didático são apresentados os conceitos abaixo:                                                                 |                 |                              |                     |

|                                                                                                                                                                             |   |  |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--|---|
| O livro didático diferencia processos eletroquímicos nos quais participam espécies em solução e espécies que constituem o próprio eletrodo (eletrodos inertes ou reativos); | X |  |   |
| O livro apresenta adequadamente o sentido do fluxo elétrico e corrente elétrica;                                                                                            |   |  | X |
| A ponte salina é apresentada como tendo a função de balanceamento das cargas, evitando a polarização do eletrodo.                                                           | X |  |   |

Essa categoria do *checklist* dedica-se exclusivamente à análise da abordagem de células eletroquímicas no LD em questão. O autor inicia as discussões acerca de Eletroquímica no capítulo intitulado “Equilíbrio em Pilhas Eletroquímicas” com a definição de pilhas. É observado que o LD não traz de forma introdutória o que é uma célula eletroquímica, mas ao invés disso inicia a discussão com o conceito de pilha. Ademais, não é abordada a definição de células eletrolíticas e nem ressaltadas as diferenças entre estas e as células galvânicas. O LD aborda a Eletroquímica com enfoque nas pilhas eletroquímicas.

Ao longo do capítulo, o autor apresenta a definição de potencial elétrico e potencial químico e logo em seguida, apresenta a pilha de Daniell. São definidos corretamente os conceitos de cátodo e ânodo, assim como a ponte salina e a sua função de evitar a polarização dos eletrodos, evitando o acúmulo de carga e permitindo a passagem de íons entre os compartimentos da esquerda e direita. Essa discussão pode ser constatada na Figura 11.

**Figura 11:** Definição da pilha de Daniell.

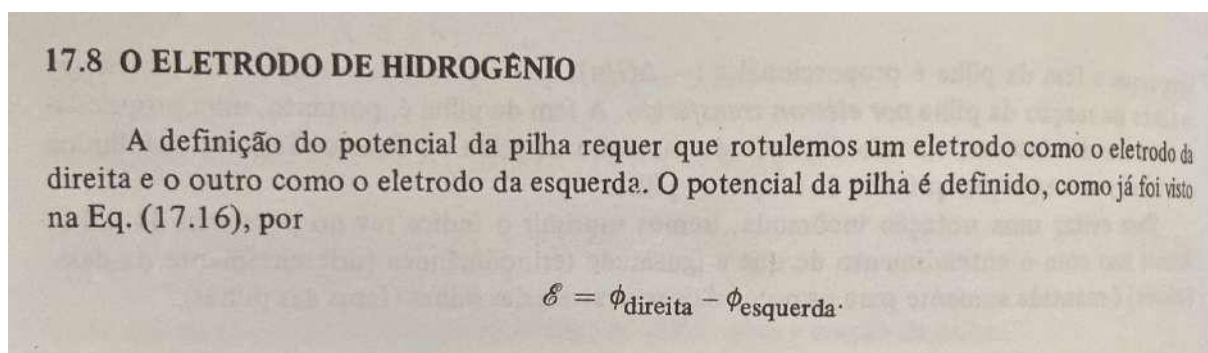


**Fonte:** CASTELLAN, 2008, p. 403.

Uma das características presentes no texto de Castellan (2008) é que o autor por muitas vezes define conceitos ao longo do texto. Dessa forma, não há um título ou subtítulo indicando em quais partes do texto haverá a definição de determinados conceitos. É possível observar essa abordagem do autor com termos como eletrólito, potencial de junção, compartimento catódico e anódico, entre outros.

Outro elemento presente na célula eletroquímica é o seu potencial, e o autor utiliza a terminologia correta para calculá-lo (vide Figura 12), somente sendo necessária a adequação da notação de força eletromotriz.

**Figura 12:** Definição do potencial da pilha.



**Fonte:** CASTELLAN, 2008, p. 406.

Outro ponto relevante de ser discutido é o fato de não haver representações no livro referentes à direção do fluxo de elétrons ou fluxo de corrente presente em uma célula galvânica em funcionamento, o que pode causar interpretações errôneas no leitor a respeito do funcionamento da pilha.

Como o conceito de célula eletroquímica é um dos mais relevantes dentro da Eletroquímica, esperava-se que o autor desse mais espaço para a definição do que essa área estuda, e também da diferença entre os diferentes tipos de células existentes, diferenciando suas propriedades. Porém, vale frisar que o LD aborda de maneira coerente o que se propõe, que são as pilhas eletroquímicas trazendo os conceitos que a definem de maneira correta.

**Quadro 5:** Terminologias utilizadas na Eletroquímica.

| Questões                                                                                                   | Adequado | Necessita revisão | Não abordado |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------|--------------|
| O livro texto trabalha com termo diferença de potencial (ddp) ao invés de usar força eletromotriz (f.e.m)? |          | X                 |              |

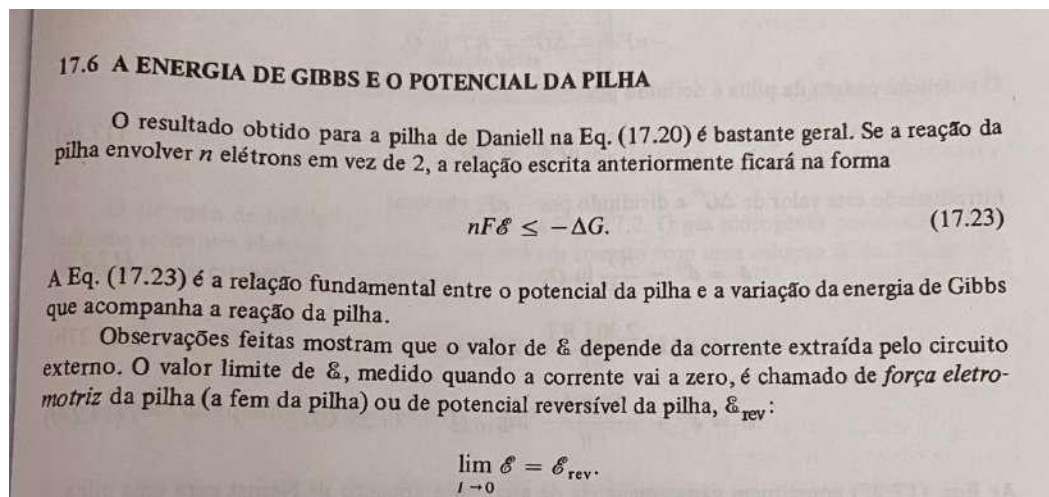
|                                                                                                                                                                                  |   |   |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|---|--|
| O LD utiliza corretamente as terminologias “ânodo” e “cátodo” para se referir aos compartimentos da célula Eletroquímica, ou seja, quando a célula se encontra em funcionamento? | X |   |  |
| O livro utiliza o conceito compartimento da direita e compartimento da esquerda para se referir aos compartimentos de uma célula Eletroquímica?                                  | X |   |  |
| O livro trabalha com as terminologias dos potenciais:                                                                                                                            |   |   |  |
| Potencial redox;                                                                                                                                                                 |   | X |  |
| Potencial padrão;                                                                                                                                                                | X |   |  |
| Potencial de equilíbrio;                                                                                                                                                         | X |   |  |
| Potencial de eletrodo;                                                                                                                                                           | X |   |  |
| Potencial eletroquímico.                                                                                                                                                         | X |   |  |

Nesta categoria do *checklist* são analisadas as terminologias utilizadas em Eletroquímica. É pertinente destacar que algumas terminologias são utilizadas de maneira inadequada pelos LD, o que pode causar dificuldades de aprendizagem de determinados conteúdos.

Isso posto, é destacado no LD analisado um equívoco com relação ao uso da terminologia referente à diferença de potencial de uma célula eletroquímica. O autor

utiliza o termo força eletromotriz (f.e.m.) (vide Figura 13) para se referir à tensão presente em uma célula galvânica quando esta se encontra em equilíbrio, ou seja, quando não há corrente elétrica passando entre os compartimentos.

**Figura 13:** Terminologia referente à diferença de potencial.



**Fonte:** CASTELLAN, 2008, p. 405.

Embora o termo força eletromotriz ainda seja utilizado em muitos materiais de Eletroquímica, essa terminologia não é mais recomendada pela IUPAC, já que não existe a aplicação de uma força física externa nas células eletroquímicas. Dessa forma, a utilização desse termo pode levar o aluno a pensar que há a aplicação de uma força externa na célula e que ela está relacionada com o potencial da pilha.

Com relação às outras terminologias presentes no *checklist*, foi observado que o autor apresentou definições corretas no que diz respeito aos termos cátodo e ânodo e à qual reação ocorre em cada um. Essa definição feita pelo autor é observada na Figura 14.

Figura 14: Terminologias Eletroquímicas presentes no LD.

**TERMINOLOGIA ELETROQUÍMICA**

Uma vez que uma pilha estiver descrita, poderemos medir seu potencial e decidir definitivamente qual eletrodo é o positivo (pólo positivo) e qual é o negativo (pólo negativo). Nada que acontecer depois irá modificar isso.

Além disso, a oxidação *sempre* ocorre no anodo e a redução *sempre* ocorre no catodo. Um eletrodo será o catodo ou o anodo dependendo da direção em que a corrente flui. Em qualquer pilha secundária as relações são:

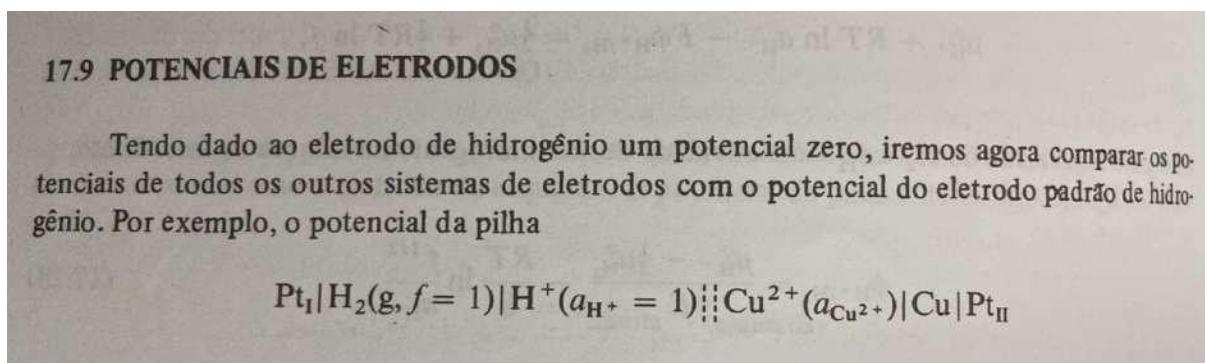
| Pólo     | Descarga | Carga  |
|----------|----------|--------|
| Positivo | Catodo   | Anodo  |
| Negativo | Anodo    | Catodo |

Fonte: CASTELLAN, 2008, p. 431.

É relevante ressaltar que o LD também destaca que os termos cátodo e ânodo apenas são utilizados após a célula se encontrar em funcionamento, de modo que quando esta se encontra em equilíbrio, utiliza-se compartimento da esquerda e compartimento da direita.

Com relação às terminologias utilizadas para se referir ao potencial das células eletroquímicas, ao longo do texto são feitas as suas respectivas definições. Dentre elas, destaca-se o potencial de eletrodo, pois ainda é utilizado o termo potencial padrão de redução que foi evidenciado ser equivocado. Isso se deve ao fato do valor do potencial não ter interferência do sentido da reação, já que os valores de  $E^0$  são medidos com reações em equilíbrio e com a utilização de um eletrodo padrão de hidrogênio como referência. Castellan (2008) destaca ao longo do texto como é feito o cálculo dos potenciais de eletrodo (Figura 15) e também as propriedades do eletrodo de hidrogênio. Além disso, traz uma tabela de potenciais de eletrodo que geralmente são encontradas em materiais didáticos como potenciais de redução.

**Figura 15:** Potencial de eletrodo definido pelo LD.



**Fonte:** CASTELLAN, 2008, p. 408.

Com isso, pode-se afirmar que o LD aborda de maneira pertinente as terminologias eletroquímicas apesar das ressalvas destacadas, já que define de maneira correta a maior parte dos conceitos abordados pelo *checklist* e que são fundamentais no ensino de Eletroquímica.

**Quadro 6:** Problemas inerentes nas ilustrações e esquemas.

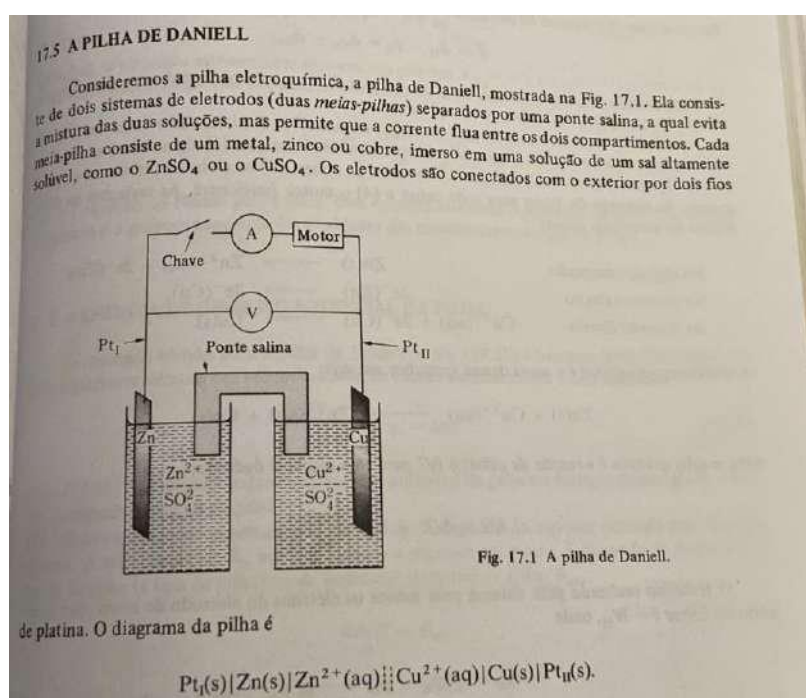
| Questões                                                                                                                                  | Adequado | Necessita revisão | Não abordado |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------|--------------|
| O livro didático apresenta figuras que ilustram o funcionamento das células Eletroquímicas?                                               | X        |                   |              |
| As figuras ilustrativas apresentam adequadamente o voltímetro quando associado em paralelo ou em série ao circuito externo da pilha;      |          | X                 |              |
| Os conceitos de fluxo de corrente, fluxo de elétrons, equilíbrio químico, compartimentos anódicos e catódicos são definidos corretamente; |          | X                 |              |
| As figuras apresentam o amperímetro em série, no circuito externo da pilha;                                                               | X        |                   |              |

Na última categoria da primeira seção do *checklist* são analisadas as figuras e ilustrações das células eletroquímicas utilizadas no LD. A parte ilustrativa do LD aborda diversos conceitos eletroquímicos e, por esse motivo, deve ser caracterizada

corretamente a fim de minimizar os possíveis erros conceituais que podem ser provenientes de ilustrações.

Na Figura 16 encontra-se a ilustração utilizada por Castellan (2008) para a representação de uma pilha eletroquímica com seus componentes, tais como os eletrodos da esquerda e da direita que podem ser o cátodo e o ânodo da reação redox, a ponte salina, as soluções utilizadas como eletrólito e fios de platina conectando os dois eletrodos.

**Figura 16:** Representação da pilha de Daniell no LD analisado.



**Fonte:** CASTELLAN, 2008, p. 409.

Pode-se considerar que o LD abordou de maneira correta os componentes presentes em uma pilha de Daniell no que se refere ao voltímetro representado. É importante destacar que, na ilustração, o LD pressupõe que não há passagem de corrente elétrica no sistema já que a chave do circuito se encontra aberta. Isso se deve ao fato de que, enquanto o voltímetro estiver ligado ao sistema, o LD não deve representar a passagem de corrente, pois quando os eletrodos estão conectados por esse dispositivo a pilha se encontra em equilíbrio e, portanto, não há fluxo de elétrons entre os compartimentos da esquerda e da direita e nem fluxo de íons na ponte salina e, portanto, não há cátodo e nem ânodo.

Porém, percebe-se que o amperímetro também está ligado ao sistema e representando com um circuito que pode ser fechado. Esta representação está equivocada, já que o amperímetro, ao contrário do voltímetro, possui baixa resistência e permite a passagem de corrente elétrica pelo sistema. Com a presença do amperímetro, o sistema, de maneira espontânea, entra em funcionamento como uma célula galvânica.

Destaca-se que o LD não apresenta muitas figuras para ilustrar células eletroquímicas, visto que a Figura 16 é uma das únicas existentes no LD com esse propósito. Acredita-se que em virtude da complexidade de conceitos existentes na área de Eletroquímica, o LD poderia ter trazido mais ilustrações representativas para definir alguns pontos do conteúdo que podem ser abstratos.

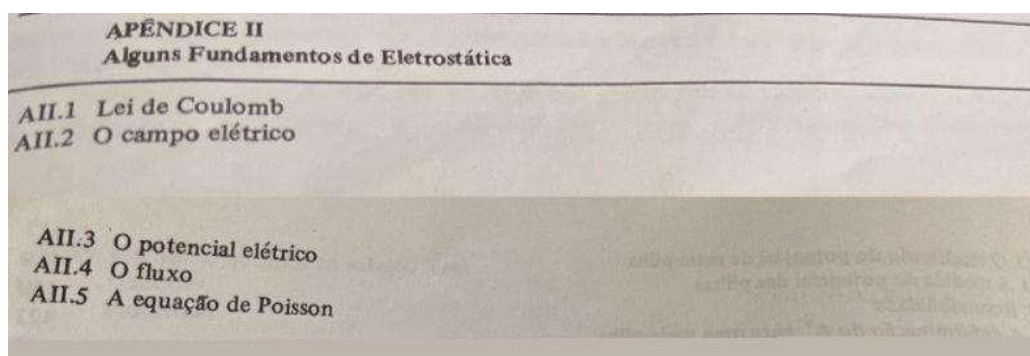
### **Segunda seção – Conceitos complementares e de suporte para a Eletroquímica**

**Quadro 7:** Conceitos da Eletricidade.

| <b>Questões</b>                                                                                              | <b>Adequado</b> | <b>Necessita<br/>revisão</b> | <b>Não abordado</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------|
| O livro didático aborda conceitos da eletrostática eletrodinâmica essenciais para o ensino de Eletroquímica; | X               |                              |                     |
| Carga Elétrica;                                                                                              |                 | X                            |                     |
| Força Elétrica;                                                                                              | X               |                              |                     |
| Campo Elétrico;                                                                                              | X               |                              |                     |
| Energia potencial elétrica;                                                                                  | X               |                              |                     |
| Potencial elétrico;                                                                                          | X               |                              |                     |
| Trabalho elétrico;                                                                                           |                 | X                            |                     |
| Diferença de potencial elétrico;                                                                             | X               |                              |                     |
| Corrente elétrica.                                                                                           |                 | X                            |                     |

Como aponta Freitas (2021) em seu trabalho, geralmente conceitos complementares como os de eletricidade são apresentados ao final do livro como apêndices, e é o que ocorre no LD analisado. Como observado na Figura 18, no Apêndice II, o autor traz a definição de conceitos eletrostáticos, tais como Lei de Coulomb, campo elétrico, potencial elétrico, fluxo elétrico e equação de Poisson.

**Figura 17:** Conceitos de eletricidade abordados no LD.



**Fonte:** CASTELLAN, 2008, p. 491.

Como discutido anteriormente, a eletricidade iniciou seu desenvolvimento antes mesmo da Eletroquímica, desse modo, é de extrema importância que o aluno tenha conhecimento dos conceitos bases da eletricidade.

Assim sendo, considera-se que o autor apresentou esses conceitos estruturantes de maneira adequada. Entretanto, alguns deles como carga elétrica, trabalho elétrico e corrente elétrica não foram explicitamente definidos pelo autor, mas utilizados na explicação de outros conceitos. Isso possivelmente mostra que o autor assume que os alunos já tenham tido contato com alguns desses conceitos fundamentais de elétrica, visto que o estudo dessa área antecede o de Eletroquímica nas estruturas curriculares.

**Quadro 8:** Conceitos da Termodinâmica Química.

| Questões                                                                                              | Adequado | Necessita revisão | Não abordado |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------|--------------|
| O livro didático aborda conceitos da Termodinâmica Química essenciais para o ensino da Eletroquímica? | X        |                   |              |
| Entalpia de reação;                                                                                   | X        |                   |              |

|                                 |   |  |  |
|---------------------------------|---|--|--|
| Entropia;                       | X |  |  |
| Espontaneidade termodinâmica;   | X |  |  |
| Energia de Gibbs;               | X |  |  |
| Potencial químico;              | X |  |  |
| Energia livre da reação;        | X |  |  |
| Energia livre padrão de reação; | X |  |  |
| Equilíbrio químico;             | X |  |  |
| Atividade.                      | X |  |  |

O LD analisado conta com capítulos que se dedicam exclusivamente à Termodinâmica Química, assim sendo, contempla todos os conceitos esperados pelo *checklist*. O capítulo referente às pilhas eletroquímicas aparece após os de Termodinâmica, o que possivelmente mostra que o autor teve a preocupação de explicar primeiramente conceitos estruturantes, como, por exemplo, entropia e energia de Gibbs, para só então trazer a discussão de Eletroquímica.

É observado durante as discussões referentes às pilhas que o autor utiliza conceitos como entropia, energia livre e equilíbrio químico sem uma explicação muito longa e detalhada desses conceitos, visto que já foram devidamente explicados e definidos em capítulos anteriores referentes à Termodinâmica.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em vista das discussões apresentadas, é possível concluir que o LD de Castellan (2008) aborda de maneira satisfatória a maioria dos conceitos estruturantes e fundamentais para o ensino de Eletroquímica. O autor aborda ao longo da obra diversos conceitos essenciais da área de Físico-Química que são relacionados com a Eletroquímica, assim sendo, permite que os alunos possam consultar outros capítulos para obter as definições de conteúdos complementares à Eletroquímica.

Além disso, o autor também ressalta a importância de rever conceitos fundamentais de Química Geral e eletricidade, explicitando para o aluno a importância do bom entendimento desses conceitos base para que seja mais bem fundamentada a aprendizagem de Eletroquímica.

Um dos pontos no qual a obra não é adequada é na contextualização histórica da Eletroquímica, já que apenas um dos autores pioneiros citado, e de maneira superficial, não explorando o seu experimento, como ele foi desenvolvido e como ele teve impacto no progresso dessa área. O autor não elucida que os aspectos históricos da ciência contribuem para a compreensão de fenômenos da Eletroquímica.

O LD apresenta diversos capítulos relacionados à Termodinâmica Química e define conceitos dessa área de maneira adequada, o que é importante para que o aluno tenha clareza de conceitos como espontaneidade, potencial eletroquímico, entalpia, entropia, entre outros, visto que a inter-relação entre eles e a Eletroquímica é fundamental.

No que diz respeito às células eletroquímicas, a grande ressalva a ser feita é a falta da diferenciação entre células galvânicas e eletrolíticas, visto que o autor foca a sua discussão exclusivamente em pilhas, deixando de abordar de maneira detalhada dispositivos que realizam eletrólise, que também são essenciais dentro da área da Eletroquímica.

As ilustrações representativas das células eletroquímicas são pertinentes em sua caracterização e elucidam os componentes que as constituem de forma correta, com exceção da representação do amperímetro com relação ao fluxo de corrente elétrica na célula. Observa-se que um ponto a ser revisado no LD é o número pequeno de imagens a respeito das células eletroquímicas, visto que elas têm sua relevância dentro do ensino de Eletroquímica.

O LD utiliza as terminologias eletroquímicas em sua maioria de maneira correta ficando apenas como revisão sugerida a utilização do termo ddp (diferença de potencial) ao invés de fem (força eletromotriz) que já não é mais um termo adequado segundo a IUPAC.

Isso posto, pode-se afirmar que alguns dos equívocos encontrados na obra poderiam ser esclarecidos por um docente em sala de aula que a esteja utilizando, deixando claro para o aluno quais definições devem ser corrigidas para que este possa fazer uso do material como referência bibliográfica. Para isso, também se faz necessário que o docente tenha em mente com clareza quais os conceitos estruturantes da Eletroquímica e sejam capazes de identificar possíveis falhas de definição no material escolhido.

Portanto, é possível afirmar que o LD em questão traz de maneira satisfatória conceitos fundamentais da Eletroquímica e pode ser considerado adequado como material de apoio e referência bibliográfica em um curso de química do ES. Porém, ao escolher essa obra, o docente precisa ter em mente quais conceitos podem ter sido discutidos equivocadamente, como analisado neste trabalho, para que seja evidenciado ao aluno as correções necessárias em determinados pontos e evitar assim possíveis concepções alternativas a respeito da Eletroquímica. Destaca-se, também, que o LD por si só não é suficiente em um planejamento didático do ES, cabendo novamente ao professor que o utilize de maneira coerente. Assim, é necessário que o docente se aproprie de outros recursos didáticos em sua metodologia de ensino, como, por exemplo, artigos científicos, jogos, debates, entre outros.

Acredita-se que este trabalho possa abrir espaço para que mais pesquisas dentro dessa temática sejam realizadas, visto que foi destacada a importância de um LD e dessa forma, se faz relevante a discussão da qualidade do conteúdo presente nele. Como perspectivas futuras, espera-se que este trabalho contribua com o avanço de pesquisas relacionadas a LD de Eletroquímica presentes no ES.

## REFERÊNCIAS

- AVACA, L. A.; TOKORO, R. A história, evolução e crescimento da Eletroquímica/eletroanalítica nestes últimos 25 anos. **Química Nova**, v. 25, p. 25-30, 2002.
- BALL, D. W. **Físico-Química**. Cengage Le ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- BATISTA, A. A. G. **Recomendações para uma política pública de livros didáticos**. Ministério ed. Brasília: Secretaria de Educação Fundamental, 2001.
- BIRSS, V. I.; TRUAX, D. R. An effective approach to teaching electrochemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 67, n. 5, p. 403, 1990.
- BRASIL. **Decreto no 91.542, de 19 de agosto de 1985**. Disponível em:< <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1980-1987/decreto-91542-19-agosto-1985-441959-publicacaooriginal-1-pe.html>>
- BRASIL. RESOLUÇÃO CNE/CES 8, DE 11 DE MARÇO DE 2002. **Diário Oficial da União**, p. 12, 2002.
- BRASIL. Resolução no 38 de 15 de outubro de 2003. **Ministério da Educação, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação**, p. 3, 2003.
- BRASIL. **Resolução/CD/FNDE no 60, de 20 de novembro de 2009**. Disponível em:< <https://www.fnde.gov.br/index.php/aceso-a-informacao/institucional/legislacao/item/3369-resolu%C3%A7%C3%A3o-n%C2%BA-60-de-20-de-novembro-de-2009>>
- CAMEL, N. J. C.; PACCA, J. L. A. P. Concepções alternativas em Eletroquímica e circulação da corrente elétrica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 7-26, 2011.
- FERNANDES, M. A. M.; PORTO, P. A. Investigando a presença da história da ciência em livros didáticos de química geral para o ensino superior. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 420-429, 2012.
- FREITAS, Gabriele de. **Desenvolvimento e validação de um checklist para análise do conteúdo de Eletroquímica em Livros Didáticos de Ensino Superior**. 2021. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Físico-Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2021.
- FREITAS FILHO, J. R. *et al.* Ligações químicas em livros didáticos de química: uma análise dos elementos dos gêneros de discurso. **Educación Química**, v. 28, n. 4, p. 282-294, 2017.
- FLICK, U. **Desenho de pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FRANCISCO JUNIOR, W. E.; DE LIMA, S. P. Considerações acerca da leitura em livros didáticos de química: uma análise a partir de textos complementares.

**Educación Química**, v. 24, n. 2, p. 489-494, 2013.

FRANCISCO JUNIOR, W. E.; FRANCISCO, W.; OLIVEIRA, A. C. G. DE. Analogias em livros de Química Geral destinados ao Ensino Superior. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 14, n. 3, p. 131-147, 2012.

GAGLIARDI, R. Los conceptos estructurales en el aprendizaje por investigacion. **Enseñanza de las ciencias**, v. 4, n. 1, p. 30-35, 1986.

GARNETT, P. J.; TREAGUST, D. F. Conceptual difficulties experienced by senior high school students of electrochemistry: Electric circuits and oxidation-reduction equations. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 29, n. 2, p. 121-142.

GONÇALVES, J. M.; JULIÃO, M. S. DA S. Analogias em livros didáticos destinados ao ensino superior: química orgânica versus físico-química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 21, n. 3, p. 92-108, dez. 2016.

HÖFFLING, Eloísa M. Notas para discussão quanto à implementação de programas de governo: em foco o Programa Nacional do Livro Didático. *Educação e Sociedade*, São Paulo, v.21, n.70, p. 159-170, abr. 2000.

IUPAC. Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry, Third Edition. **Chemistry International -- Newsmagazine for IUPAC**, v. 28, n. 1, 2006.

IUPAC. **Compendium of Chemical Terminology Gold Book**. 2.3.3 ed. Zurique: International Union of Pure and Applied Chemistry, 2014. v. 2

KAUARK, F. DA S.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da**

LEITE, H. S. A.; PORTO, P. A. Análise da abordagem histórica para a tabela periódica em livros de química geral para o ensino superior usados no Brasil no século XX. **Química Nova**, v. 38, n. 4, p. 580-587, 2015.

LEITE, L. History of science in science education: Development and validation of a *checklist* for analysing the historical content of science textbooks. **Science and Education**, v. 11, n. 4, p. 333-359, 2002.

LIMA, Viviani Alves de; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro. Atividades experimentais no ensino de química: reflexões de um grupo de professores a partir do tema eletroquímica. **Enseñanza de las Ciencias:Revista de Investigación y Experiencias Didácticas**[S.l: s.n.], 2005.

LOGUERCIO, R. DE Q.; SAMRSLA, V. E. E.; DEL PINO, J. C. A dinâmica de analisar livros didáticos com os professores de química. **Química Nova**, v. 24, n. 4, p. 557-562, 2001.

LOPES, A. R. C. Livros didáticos: Obstáculos ao aprendizado da Ciência Química. **Química Nova**, v. 15, n. 3, p. 254-261, 1992.

MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de ciências: problemas e soluções. **Ciência & Educação**, v. 9, n. 2, p. 147-157, 2003.

MEGID NETO, J.; FRACALANZA, H. O livro didático de Ciências: problemas e soluções. In: **O livro didático de Ciências no Brasil**. Campinas: Editora Komedi, 2006. p. 224.

MÉNDEZ, D.; SLISKO, J. La historia en los libros de texto de física y química para secundaria: Las diferentes formas de presentar la información histórica y las opiniones relacionadas de los alumnos. **Revista Mexicana de Física E**, v. 60, n. 1, p. 66-74, 2014.

MÓL, G. DE S. Pesquisa Qualitativa Em Ensino De Química. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 5, n. 9, p. 495-513, 2017.

NAGY, Z. **AN INTRODUCTION – WHAT IS ELECTROCHEMISTRY?** The Electrochemical Society, 2008. Disponível em: <<https://knowledge.electrochem.org/encycl/art-i02-introduction.htm>>. Acesso em: 10/11/2021

NOGUEIRA, K. S. C.; DE GOES, L. F.; FERNANDEZ, C. As limitações de ensino-aprendizagem associadas ao conteúdo redox nos eventos brasileiros. **Enseñanza de las ciencias**, p. 6, 2017.

NÚÑEZ, I. B. *et al.* A seleção dos livros didáticos: um saber necessário ao professor. O caso do ensino de ciências. **Revista Iberoamericana de Educación**, p. 1-12, 2003.

OGUDE, A. N.; BRADLEY, J. D. Ionic conduction and electrical neutrality in operating electrochemical cells. **Journal of Chemical Education**, v. 71, n. 1, p. 29-34, 1994.

OGUDE, N. A.; BRADLEY, J. D. Electrode processes and aspects relating to cell EMF, current, and cell components in operating electrochemical cells: precollege and college student interpretation. **Journal of Chemical Education**, v. 73, n. 12, p. 1145, 1996.

ÖZKAYA, A. R.; ÜCE, M.; SAHIN, M. Prospective teachers' conceptual understanding of electrochemistry. **Galvanic and electrolytic cells**, v. 7, n. 1, p. 1-12, maio 2003.

RAUPP, D.; DEL PINO, J. C. Estereoquímica no Ensino Superior: historicidade e contextualização em livros didáticos de Química Orgânica. **Acta Scientiae**, v. 17, n. 1, p. 146-168, 2015.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. Common student misconceptions in electrochemistry: galvanic, electrolytic, and concentration cells. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 4, p. 377-398, 1997a.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. Students' Misconceptions in Electrochemistry Regarding Current Flow in Electrolyte Solutions and the Salt Bridge. **Journal of Chemical Education**, v. 74, n. 7, p. 819-823, 1997b.

SANGER, M. J.; GREENBOWE, T. J. An analysis of college chemistry textbooks as sources of misconceptions and errors in electrochemistry. **Journal of Chemical Education**, v. 76, n. 6, p. 853, 1999.

SANTOS, Sandra Maria de Oliveira. **Crêterios para avaliação de livros didáticos de química para o ensino médio**. 2006. 235 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SCHNETZLER, Roseli Pacheco. **O tratamento do conhecimento químico em livros didáticos brasileiros para o ensino secundário de química de 1875 a 1978**. 1980. [188] f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/252286>>. Acesso em: 12/11/2021.

SEQUEIRA, M.; LEITE, L. Alternative conceptions and history of science in physics teacher education. **Science Education**, v. 75, n. 1, p. 45-56, 1991.

SILVA, G. J. DA; MARTINS, C. M. D. C. A confiabilidade e a validação na investigação epistemológica do livro didático de química: um desenho metodológico. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n. 2, p. 221-240, 2009.

SOUZA, K. A. DE F. D. DE; MATE, C. H.; PORTO, P. A. História do uso do livro didático universitário: o caso do Instituto de Química da Universidade de São Paulo. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, p. 873-886, 2011.

TSAPARLIS, G. Teaching and Learning Electrochemistry. **Israel Journal of Chemistry**, v. 58, n. 6-7, p. 1-16, 2018.

UYULGAN, M. A. *et al.* Opinions of teachers and students on secondary education chemistry textbooks. **Procedia Computer Science**, v. 3, p. 1126-1130, 2011.

ZAMBON, L. B.; TERRAZZAN, E. A. Políticas de material didático no Brasil: organização dos processos de escolha de livros didáticos em escolas públicas de educação básica. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 94, n. 237, p. 585-602, 2013.

ZANONI, M. V. B. *et al.* Panorama da Eletroquímica e eletroanalítica no Brasil. **Química Nova**, v. 40, n. 6, p. 663-669, 2017.

ZYTKUEWISZ, Matheus Almeida Bauer. ** roteiros furados : uma estratégia didática investigativa para o laboratório de Química**. 2018. 261 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2018.